

Plano Nacional de Energia 2030



Geração Hidrelétrica

Plano Nacional de Energia 2030

Geração Hidrelétrica

Roteiro

Observações Iniciais | 1

Energia Hidráulica no Mundo | 2

Energia Hidráulica no Brasil | 3

Expansão da Energia Hidráulica no Brasil | 4

Observações Iniciais

Observações iniciais

Metodologia de trabalho: reuniões temáticas

- Durante os meses de fevereiro e março de 2006, a EPE promoveu uma série de **reuniões temáticas**, direcionadas para os **estudos da oferta**.
- No dia **21 de fevereiro**, no Escritório Central da empresa, teve lugar a que se ocupou do tema **Energia Hidráulica**.
- Os depoimentos e os esclarecimentos colhidos nessas reuniões fazem parte do material de referência utilizado nos estudos da oferta.
- No caso da Energia Hidráulica foram especialmente importantes, seja por sua relevância intrínseca, dada a qualificação dos profissionais convidados, seja por sua atualidade.

Observações iniciais

Convidados para o tema Geração Hidrelétrica

José Luiz **Alquères**, Presidente da Alstom do Brasil, Vice-presidente da Associação Brasileira da Indústrias de Base – ABDIB e ex-Presidente da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás;

Altino Ventura Filho, Consultor, ex-Presidente da Eletrobrás e ex-Diretor Técnico da Itaipu Binacional;

Joaquim Guedes Corrêa **Gondim** Filho, Superintendente de Usos Múltiplos da Agência Nacional de Águas – ANA;

José Antonio Muniz Aragão, Consultor e ex-Presidente da Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – Eletronorte;

Norma Pinto **Villela**, Superintendente de Gestão Ambiental de Furnas Centrais Elétricas S.A.;

Roberto Pereira d’**Araujo**, Consultor, ex-Diretor do Instituto de Desenvolvimento Estratégico do Setor Energético - ILUMINA e ex-Chefe do Departamento de Estudos de Mercado de Furnas.

Outras referências importantes no tema

SIPOT, Eletrobrás (atualização de julho de 2005)

Plano 2015, Eletrobrás: 1994

Balanco Energético Nacional, MME: 2004; EPE: 2005

Observações iniciais

Limitações relevantes

Estudos do potencial desatualizados

- Baixo nível de conhecimento do potencial
- Custos defasados
- Restrições ambientais mais fortes

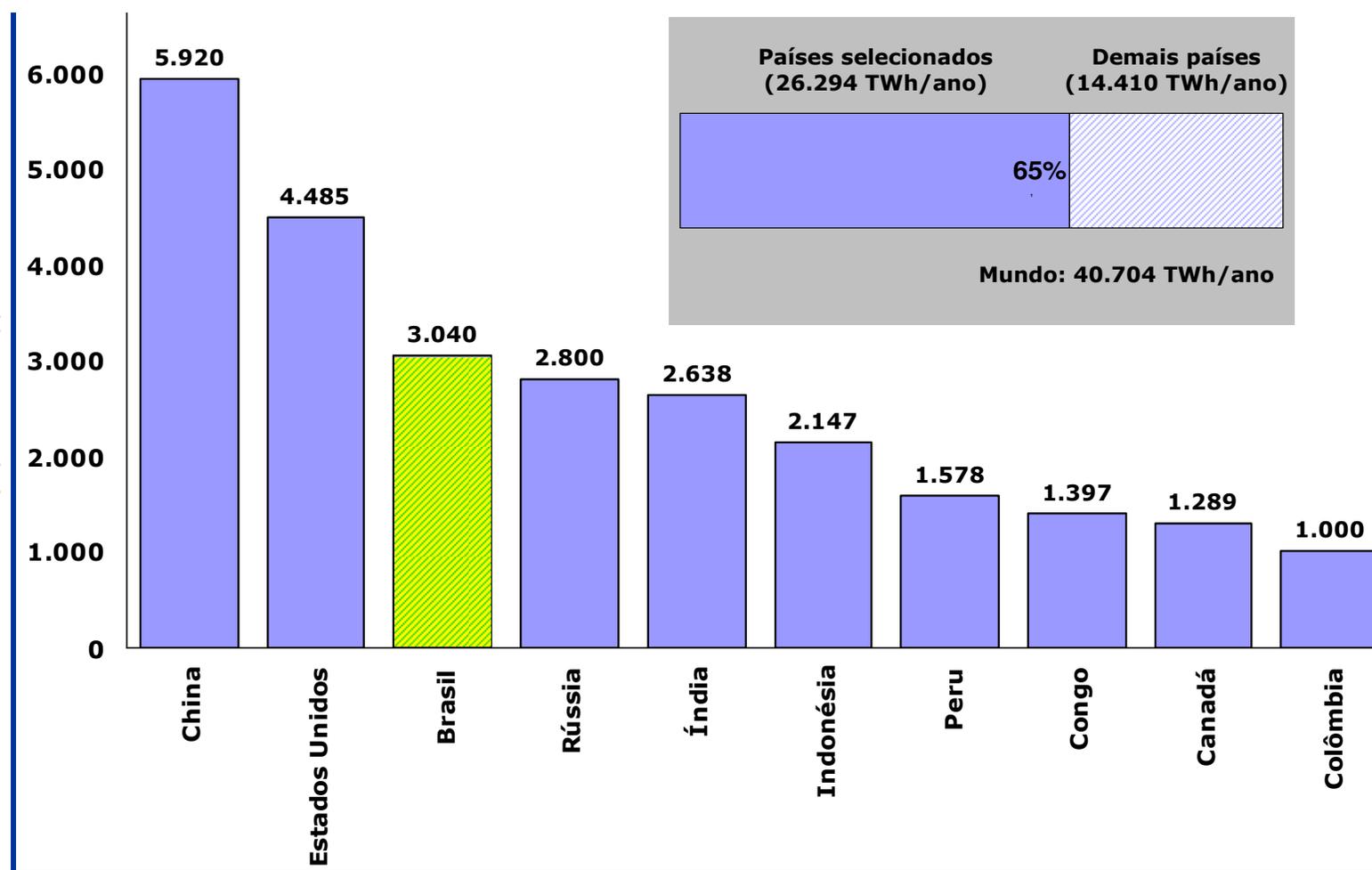
Revisão de conceitos para levantamento do potencial

Energia Hidráulica no Mundo



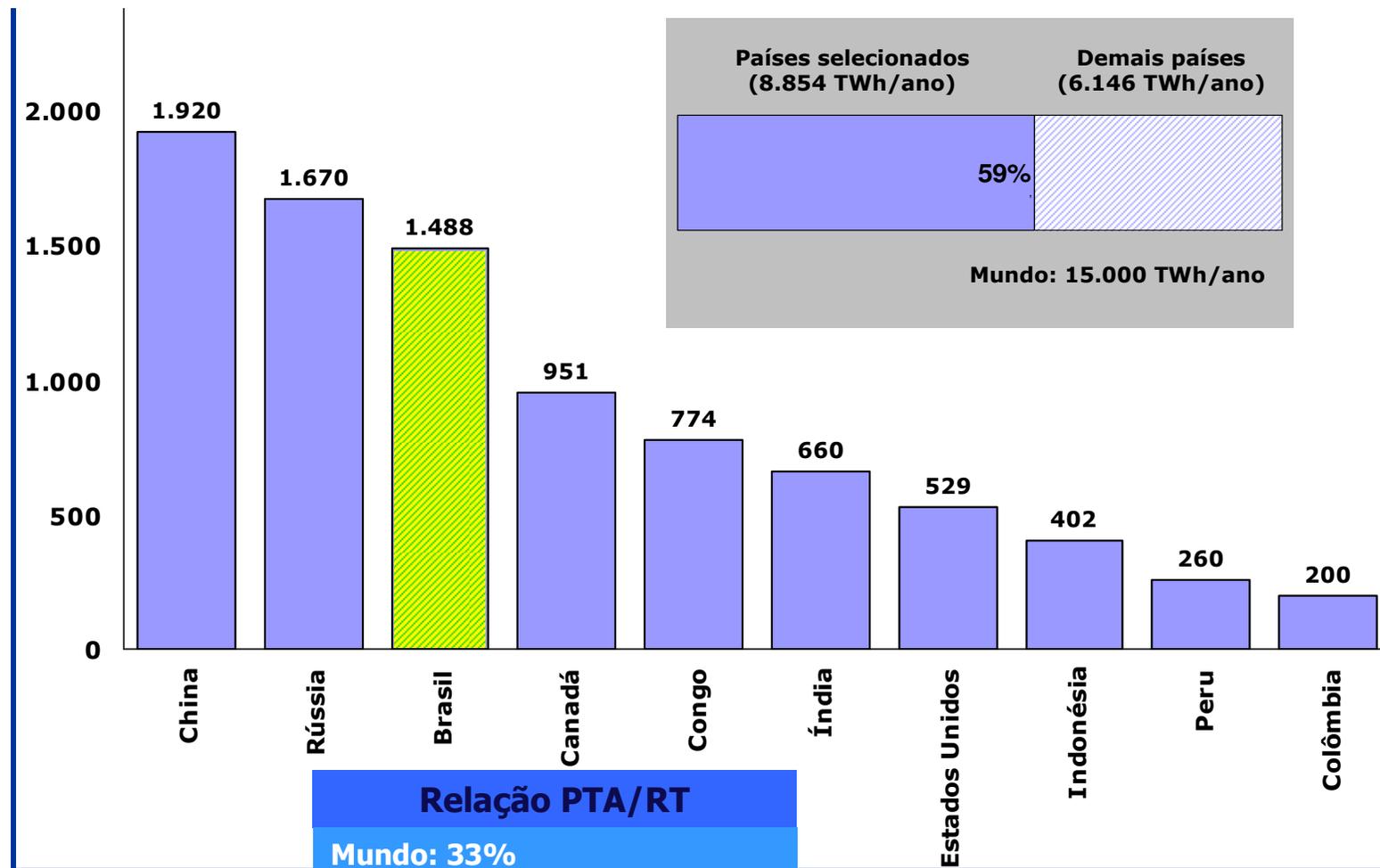
Energia hidráulica no mundo

Recurso Hidrelétrico TOTAL



Energia hidráulica no mundo

Potencial Tecnicamente Aproveitável

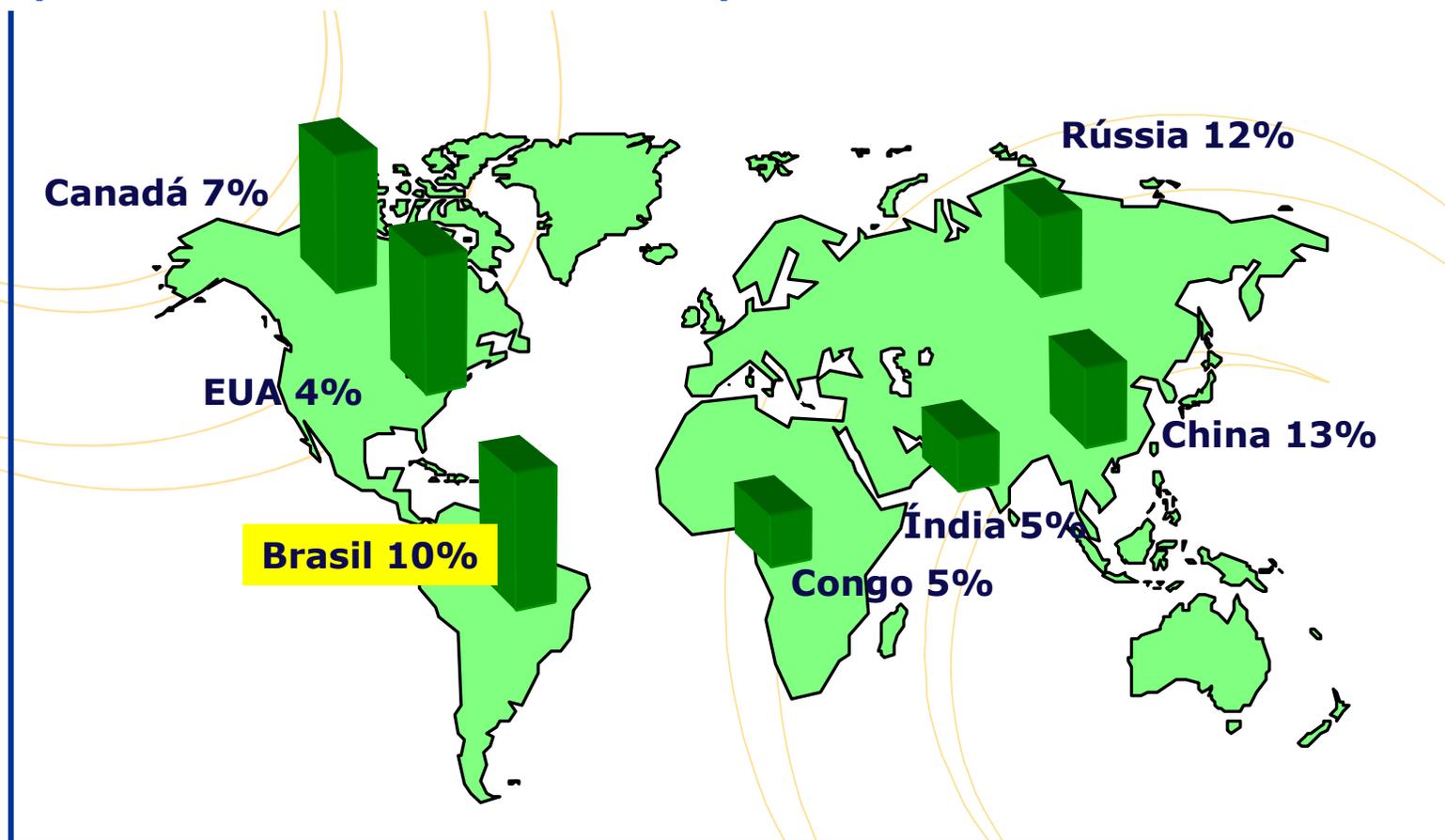


Relação PTA/RT

Mundo: 33%	Rússia: 60%
Canadá: 79%	EUA: 12%
Brasil: 49%	
Índia: 25%	

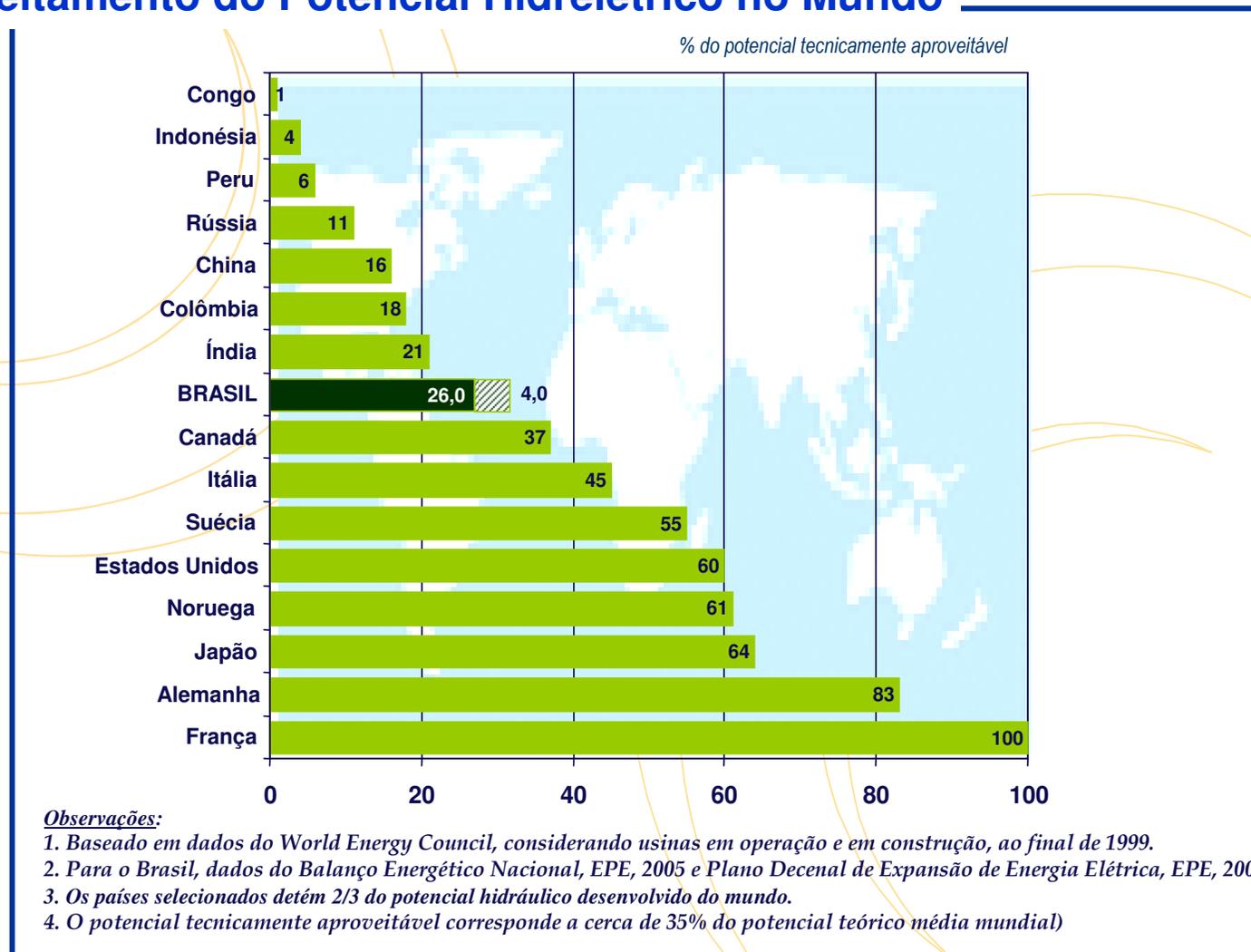
Energia hidráulica no mundo

Principais Potenciais Tecnicamente Aproveitáveis



Energia hidráulica no mundo

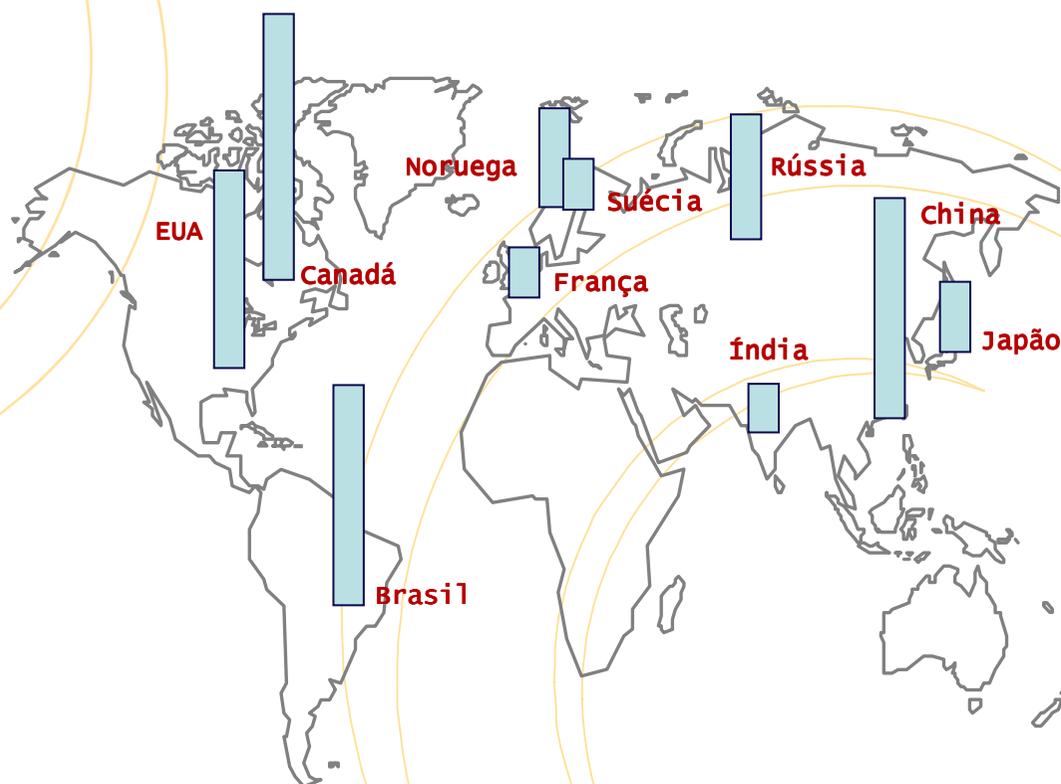
Aproveitamento do Potencial Hidrelétrico no Mundo



Energia hidráulica no mundo

Principais Produtores de Energia Hidráulica (2003)

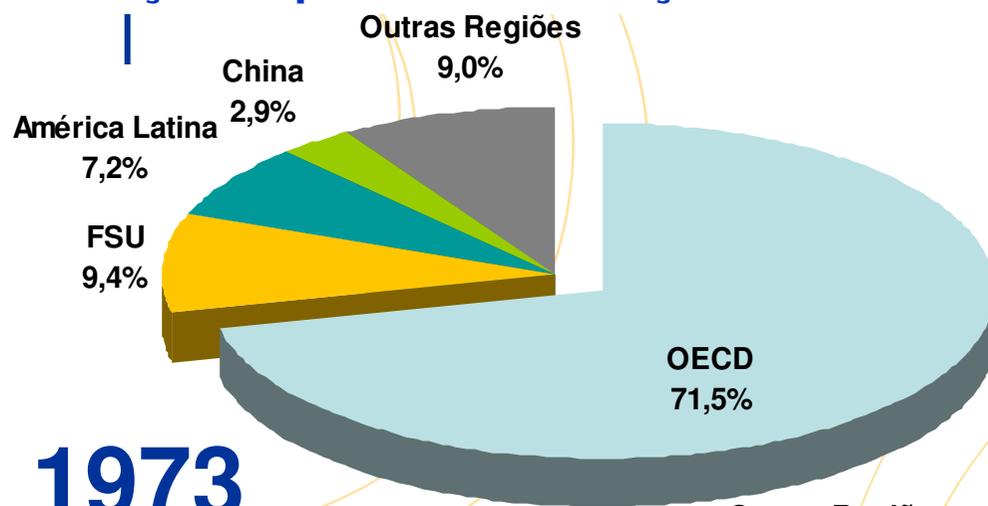
Produtores	TWh	%
Canadá	350	13,1
China	288	10,8
Brasil	285	10,7
Estados Unidos	258	9,6
Rússia	164	6,1
Noruega	130	4,9
Japão	92	3,4
Suécia	67	2,5
França	66	2,5
Índia	64	2,4
Resto do mundo	912	34,0
Mundo	2.676	100,0



Fonte:
International Energy Agency in
Key World Energy Statistics 2004

Energia hidráulica no mundo

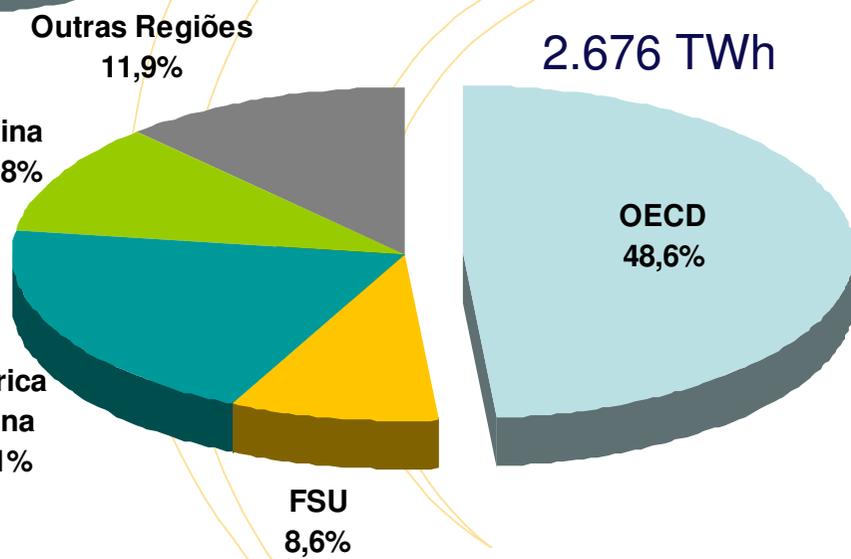
Distribuição Espacial da Produção de Hidreletricidade



1973

1.295 TWh

Grande crescimento na China e na América Latina, que juntos produzem hoje quase $\frac{1}{3}$ da energia de origem hidráulica no mundo (apenas 10% em 1973)



2002

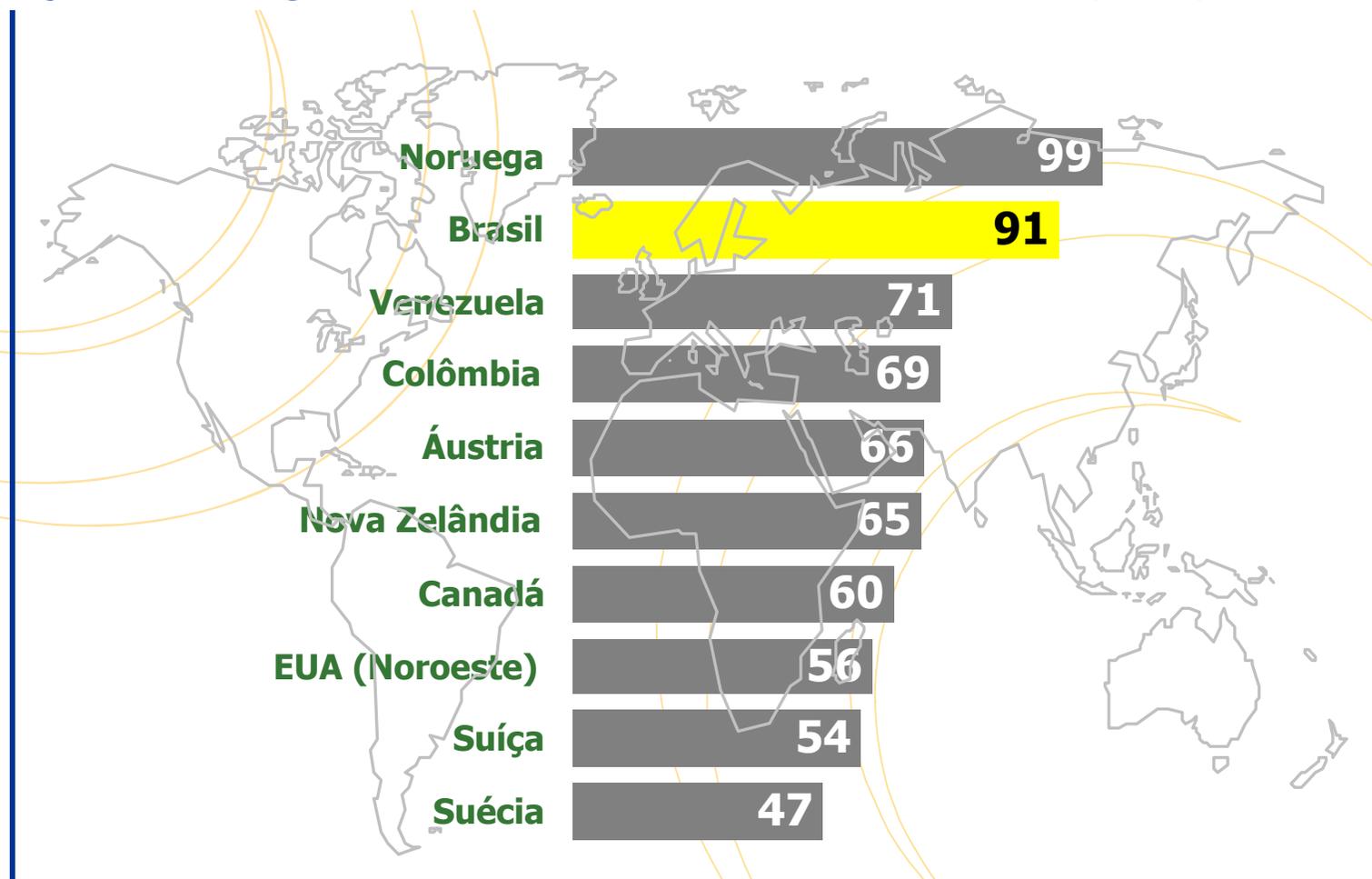
2.676 TWh

FSU: former Soviet Union (ex-União Soviética)
 OECD: Organization for Economic Cooperation and Development (Organização para a Cooperação Econômica e o Desenvolvimento)

Fonte:
 International Energy Agency in
Key World Energy Statistics 2003

Energia hidráulica no mundo

Proporção da energia hidráulica na oferta de eletricidade (2002)



Energia Hidráulica no Brasil



Usina de São Simão, 1.700 MW, CEMIG

Energia hidráulica no Brasil

Importância da Hidreletricidade no Brasil

A oferta primária de energia hidráulica no Brasil cresceu mais de 7 vezes nos últimos 30 anos, mais de 2,5 vezes o crescimento mundial no mesmo período

	Mundo	Brasil(*)
<ul style="list-style-type: none"> Oferta de energia hidráulica (10⁶ tep) <ul style="list-style-type: none"> • 1971 • 2002 	<p>104</p> <p>224</p>	<p>3,42</p> <p>26,30</p>
<ul style="list-style-type: none"> Crescimento no período <ul style="list-style-type: none"> 10⁶ tep 10⁶ tep/ano (média) Taxa anual média 	<p>120</p> <p>3,9</p> <p>2,5%</p>	<p>22,9</p> <p>0,7</p> <p>6,4%</p>

215

Mundo

769

Brasil

1970 = 100

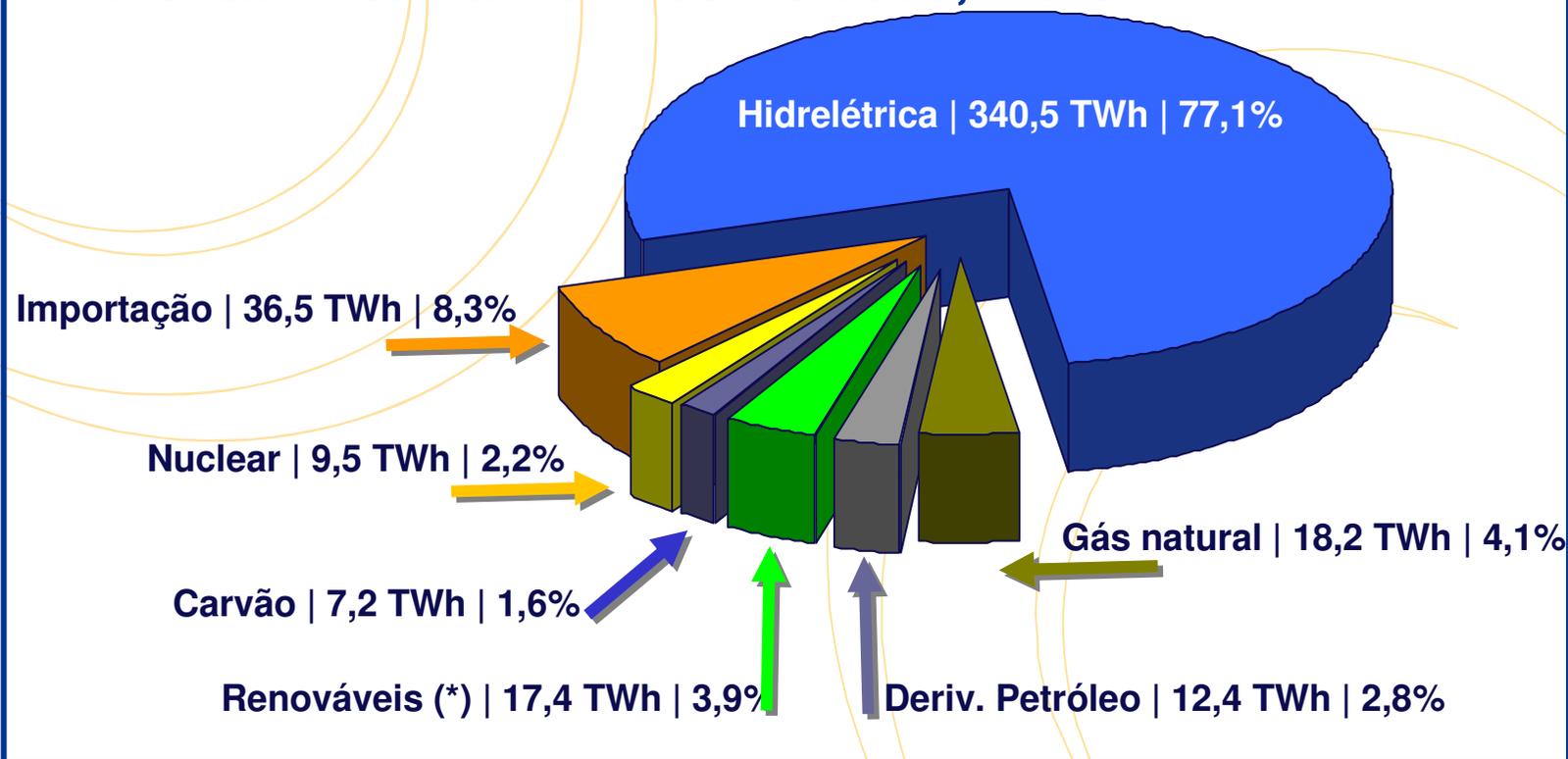
(*) 1970 e 2003

Fontes:
 World Energy Outlook 2004. International Energy Agency. Paris: 2004
 Balanço Energético Nacional. MME. Brasília: 2004

Energia hidráulica no Brasil

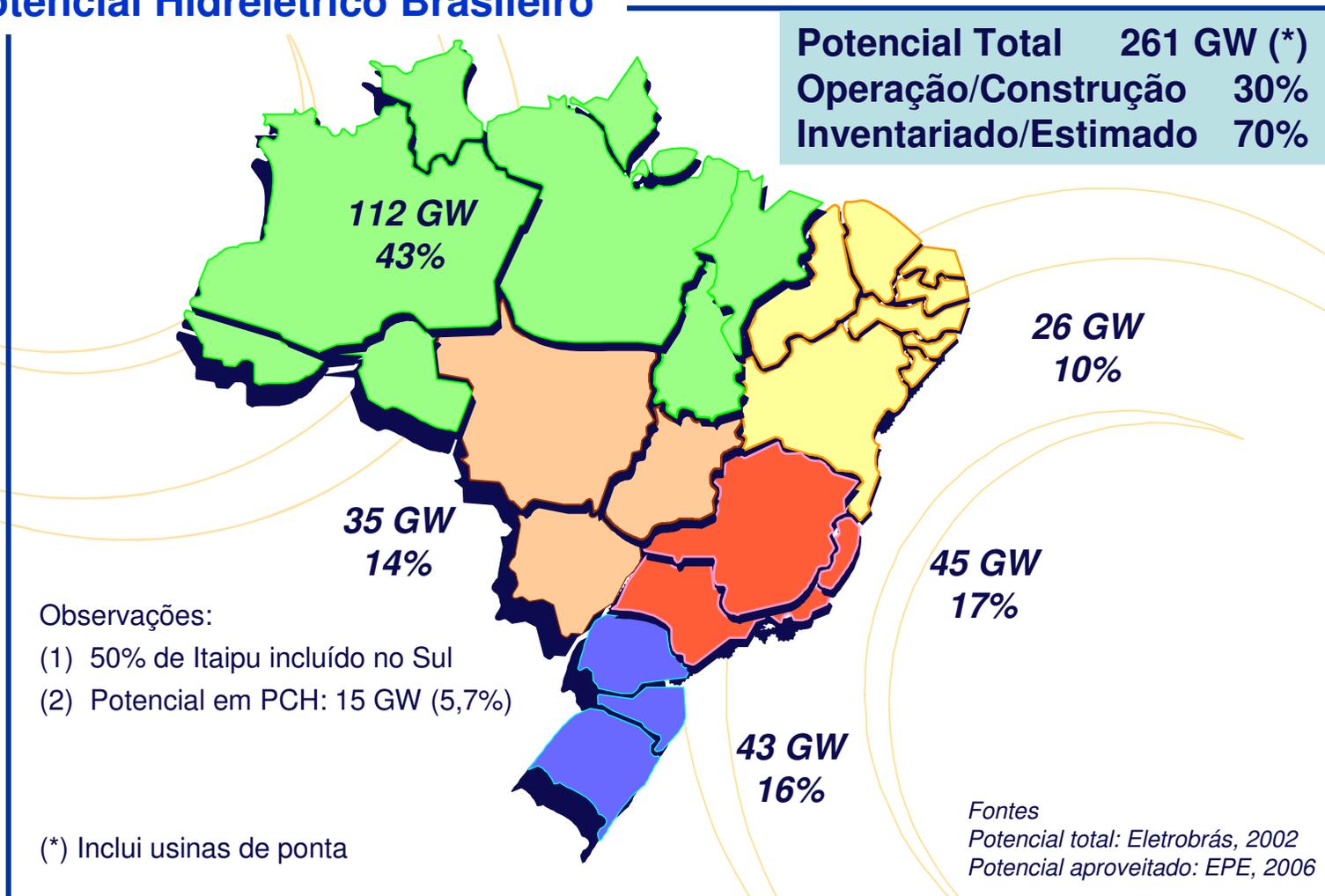
Importância da Hidreletricidade no Brasil

- Oferta Interna de Eletricidade, 2005



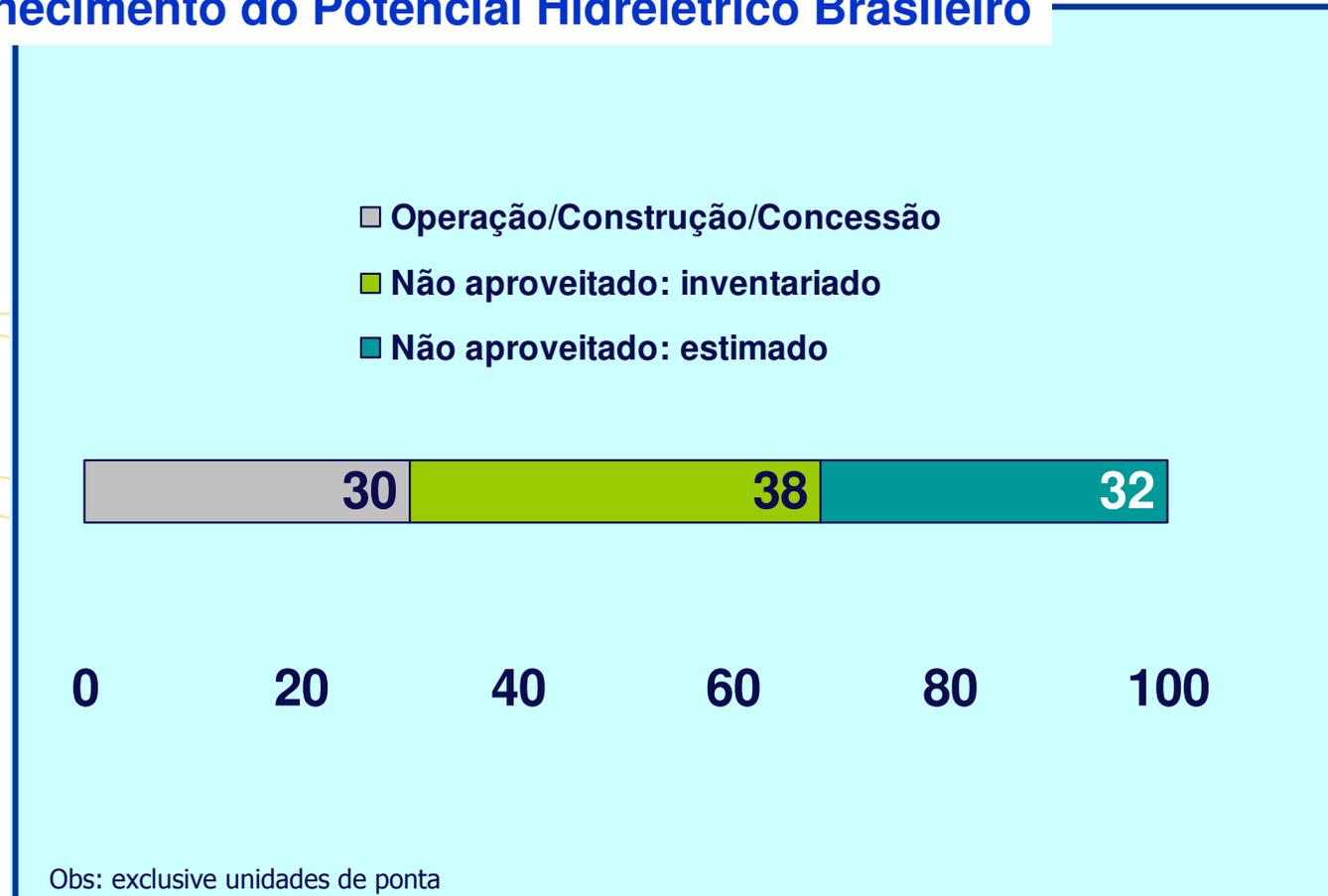
Energia hidráulica no Brasil

Potencial Hidrelétrico Brasileiro



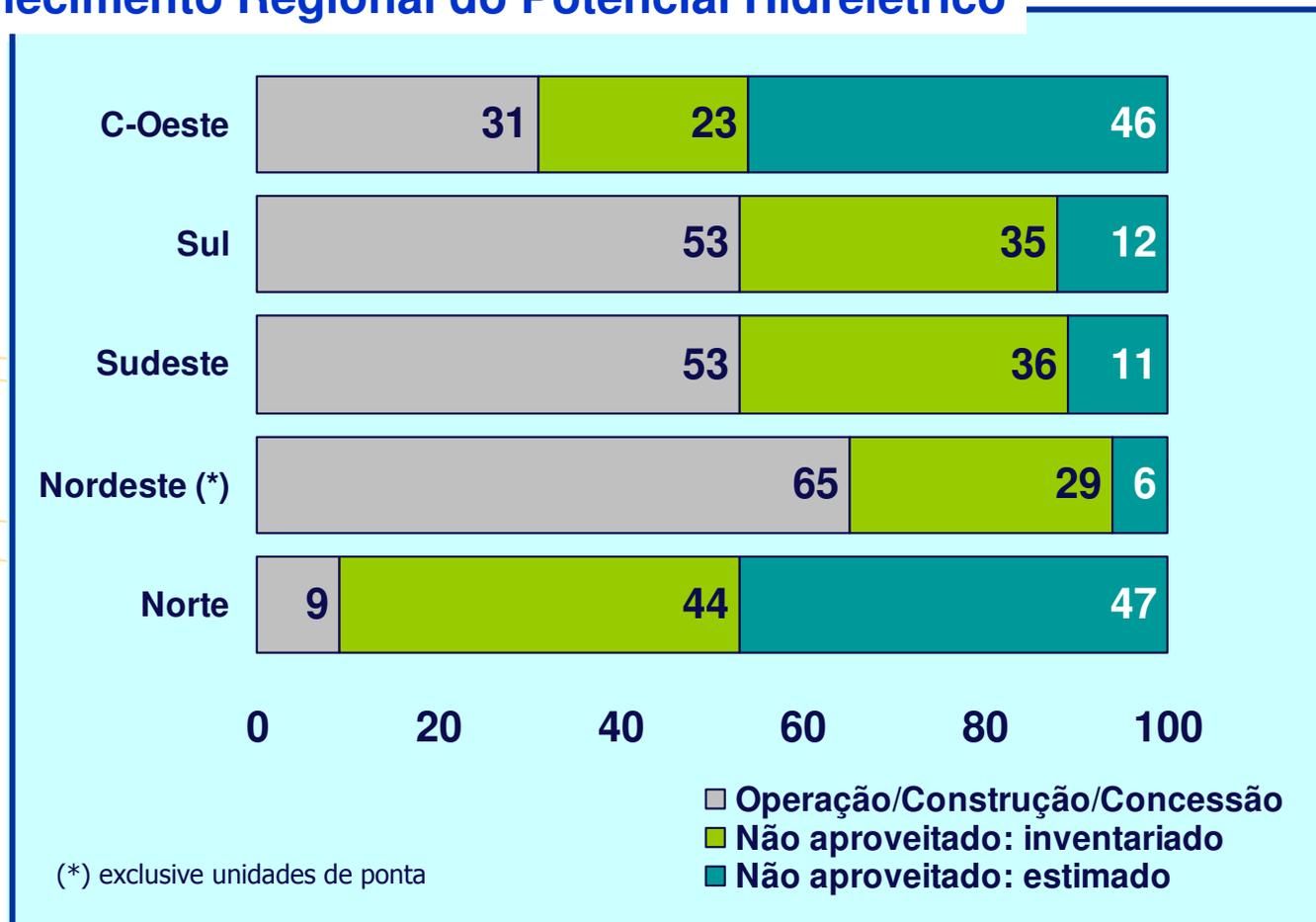
Energia hidráulica no Brasil

Conhecimento do Potencial Hidrelétrico Brasileiro



Energia hidráulica no Brasil

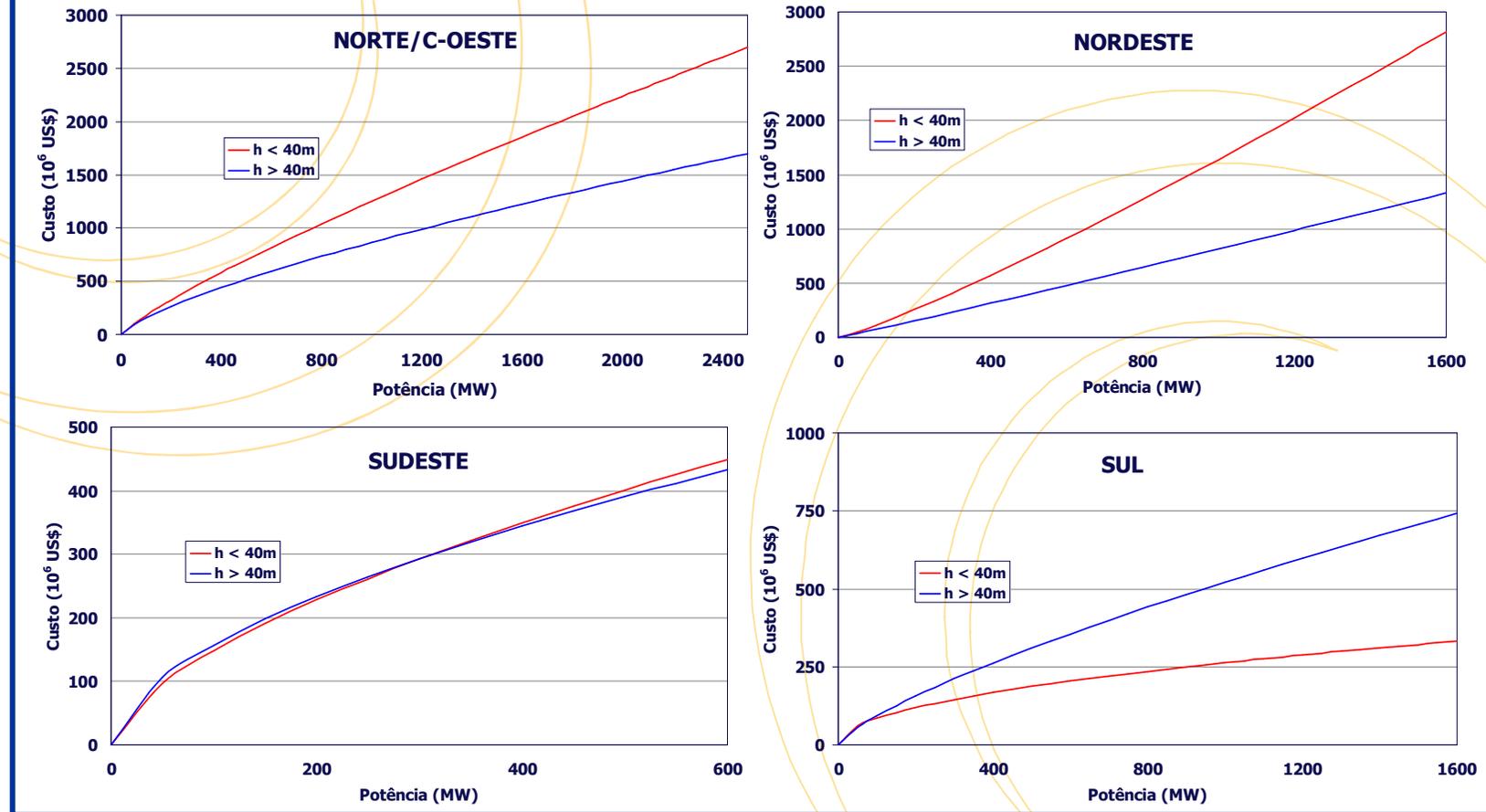
Conhecimento Regional do Potencial Hidrelétrico



Energia hidráulica no Brasil

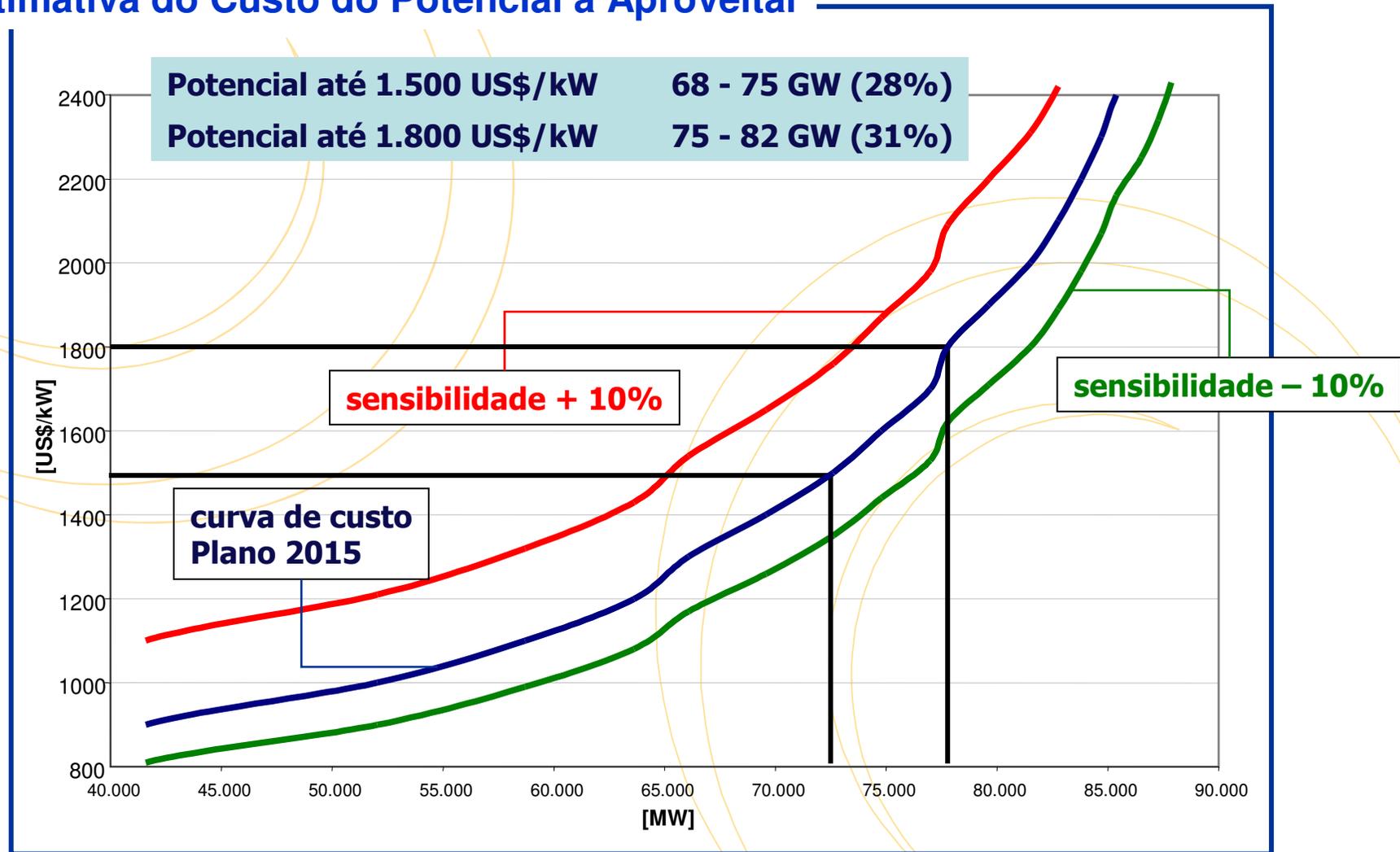
Estimativa de Custo do Potencial Estimado (ref.: Plano 2015)

curvas de custo do tipo $C = f(P) = k * P^j$



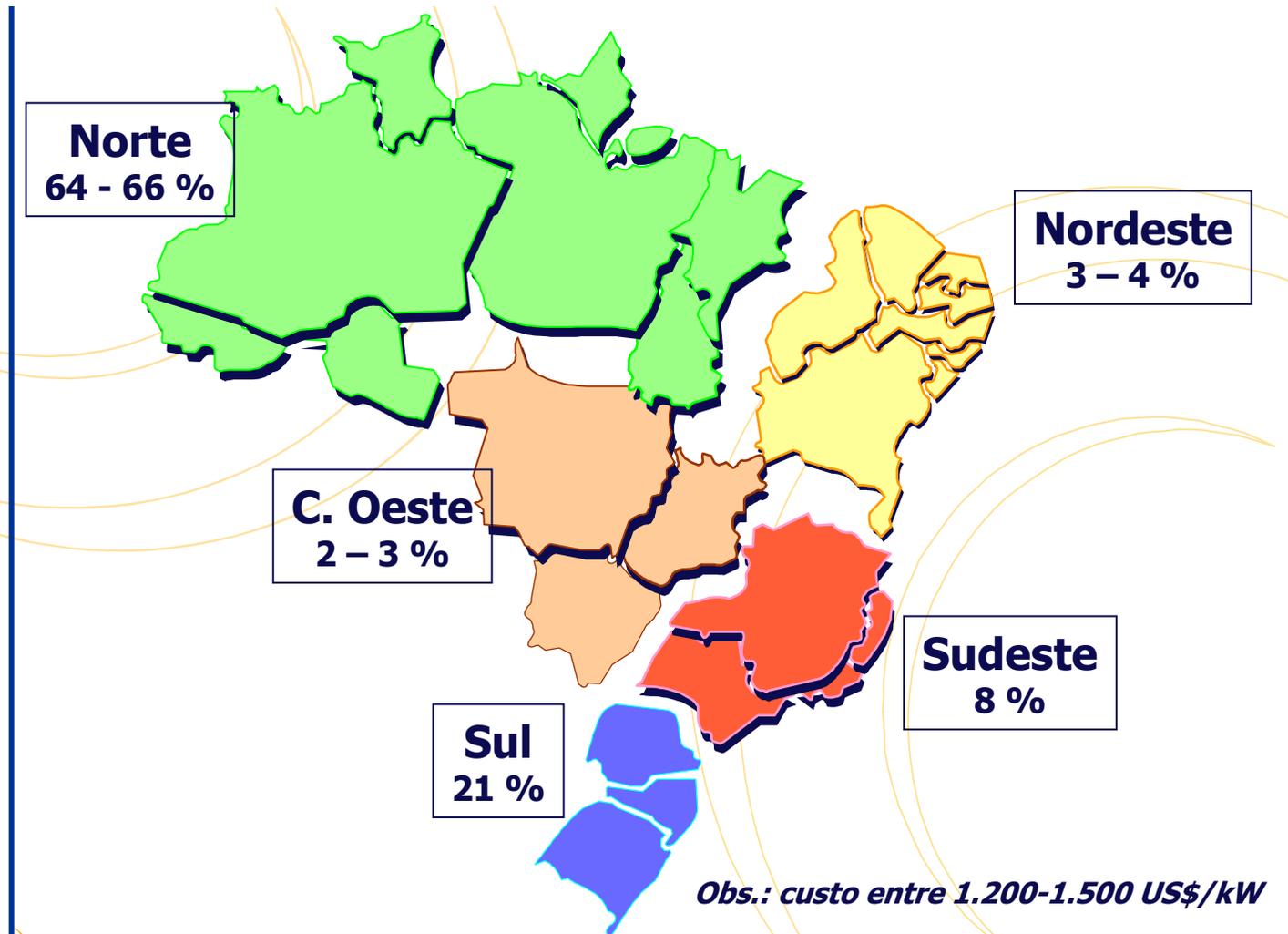
Energia hidráulica no Brasil

Estimativa do Custo do Potencial a Aproveitar



Energia hidráulica no Brasil

Distribuição Geográfica do Potencial a Aproveitar



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Condicionantes principais

- **Aumento do portfólio de projetos, no médio prazo**
- **Crescimento do mercado**
- **Transmissão**
- **Meio ambiente**
- **Competitividade**

Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Aumento do portfólio de projetos

- Estudos de **Avaliação Ambiental Integrada – AAI** de Bacias Hidrográficas iniciados pela EPE em 2005
 - Estudos de 6 bacias em desenvolvimento + 5 a contratar
 - Investimento: **R\$ 9 milhões**
- Novos estudos de **inventário e viabilidade** a serem contratados pela EPE este ano
 - 6 bacias, com AAI incorporada, 15.000 MW
 - 6 projetos (viabilidade), 3.200 MW
 - Investimento previsto: **R\$ 115 milhões**

Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Aumento do portfólio de projetos

EPE: estudos de AAI

Licitados em 2005

Parnaíba

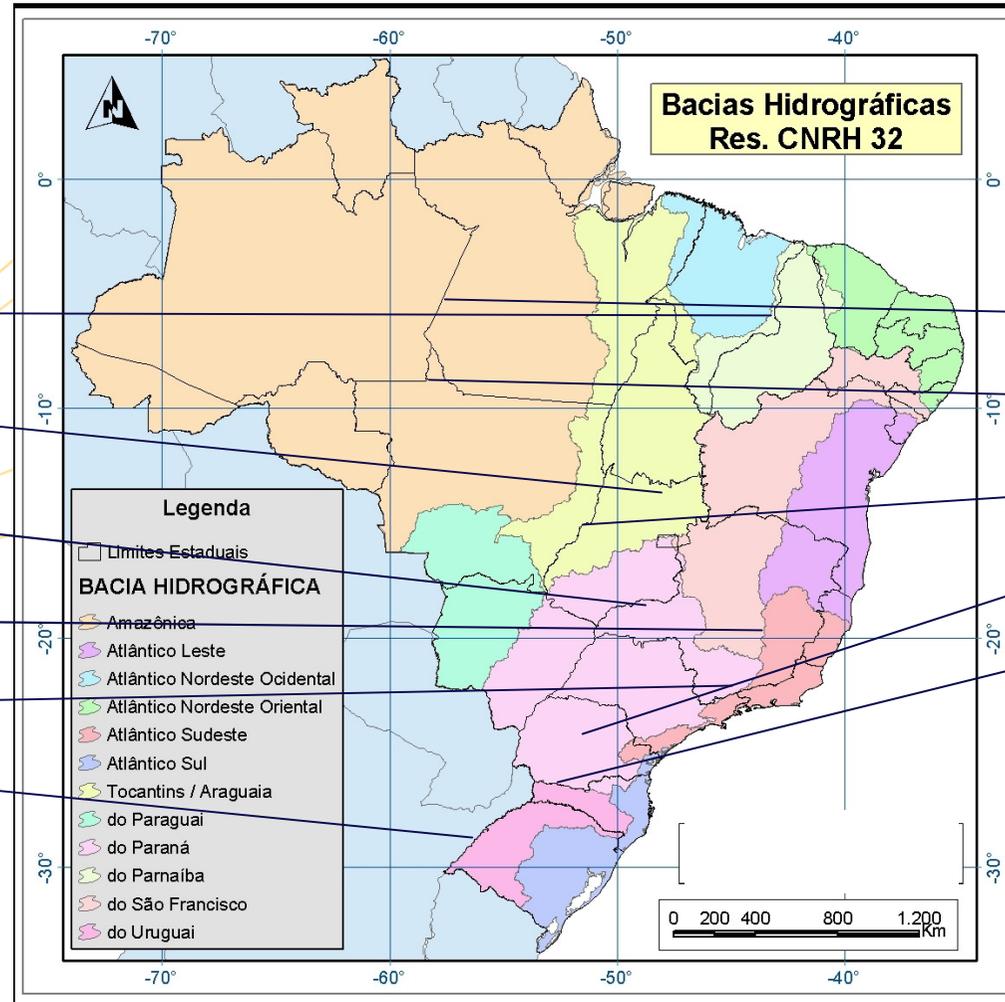
Tocantins e Formadores

Paranaíba

Doce

Paraíba do Sul

Uruguai



A licitar em 2006

Tapajós

Teles Pires

Araguaia

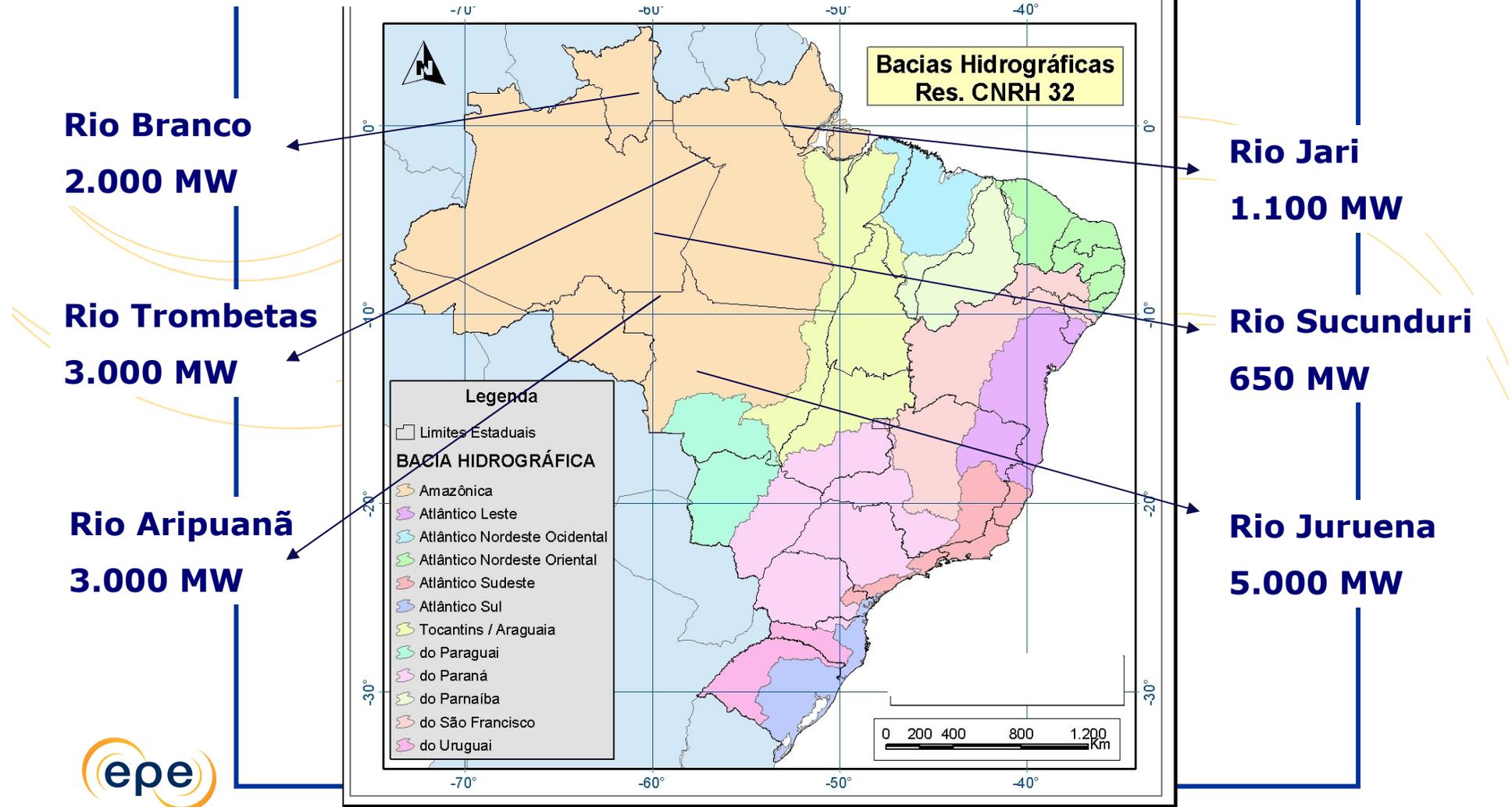
Tibagi

Iguaçu

Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

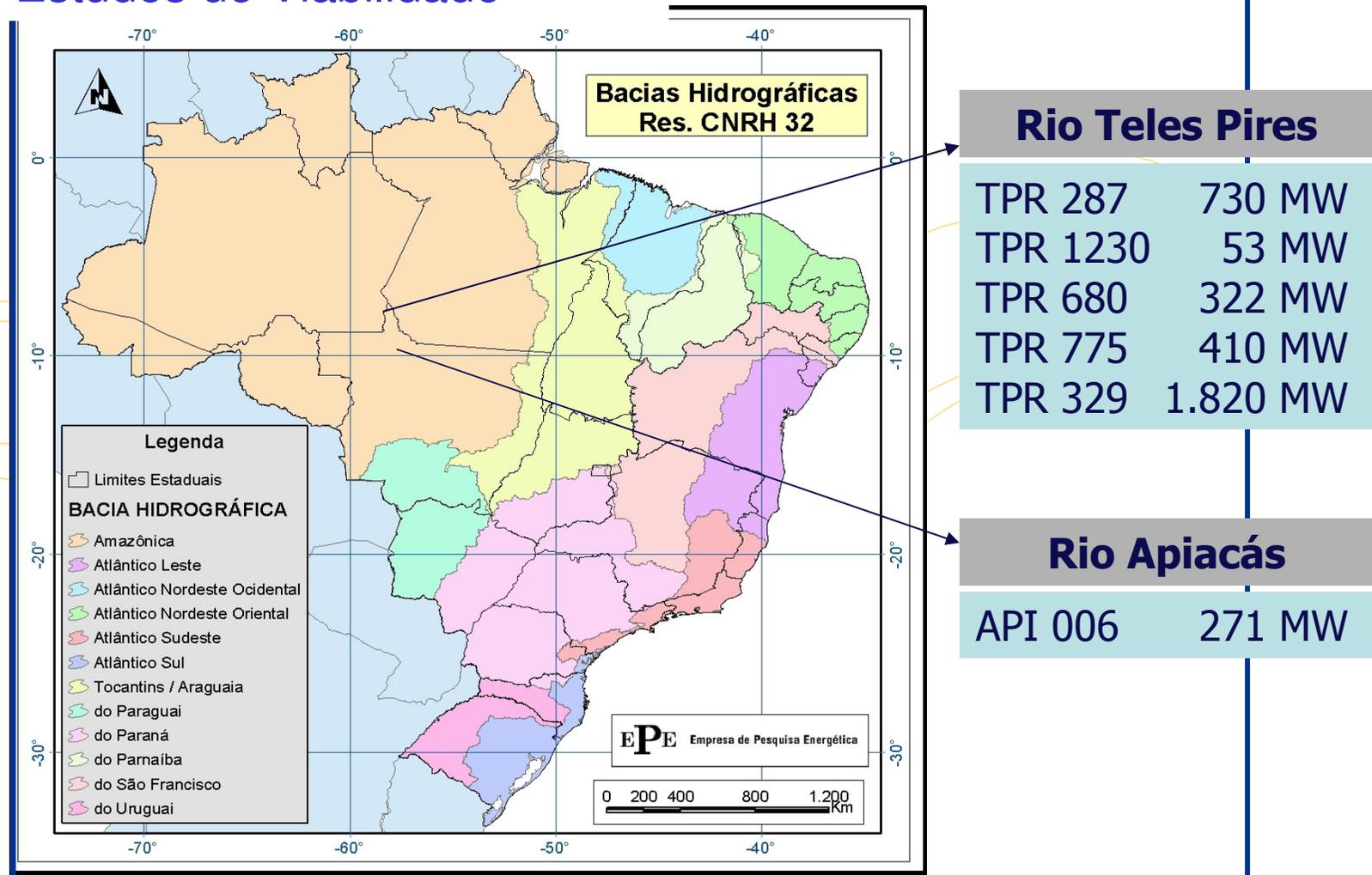
Aumento do portfólio de projetos

EPE: Estudos de Inventário, incluindo AAI



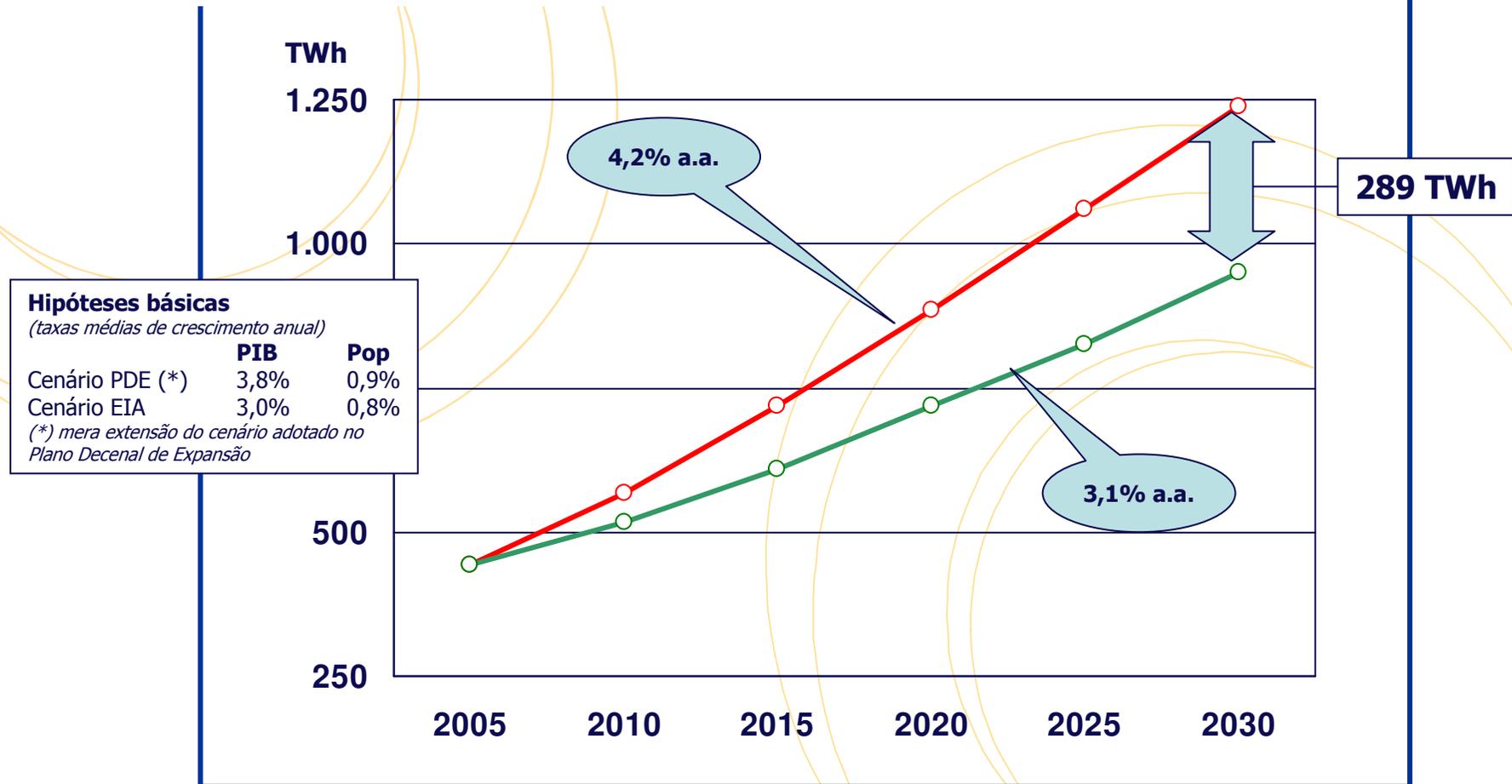
Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Aumento do portfólio de projetos
EPE: Estudos de Viabilidade



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Crescimento do oferta interna



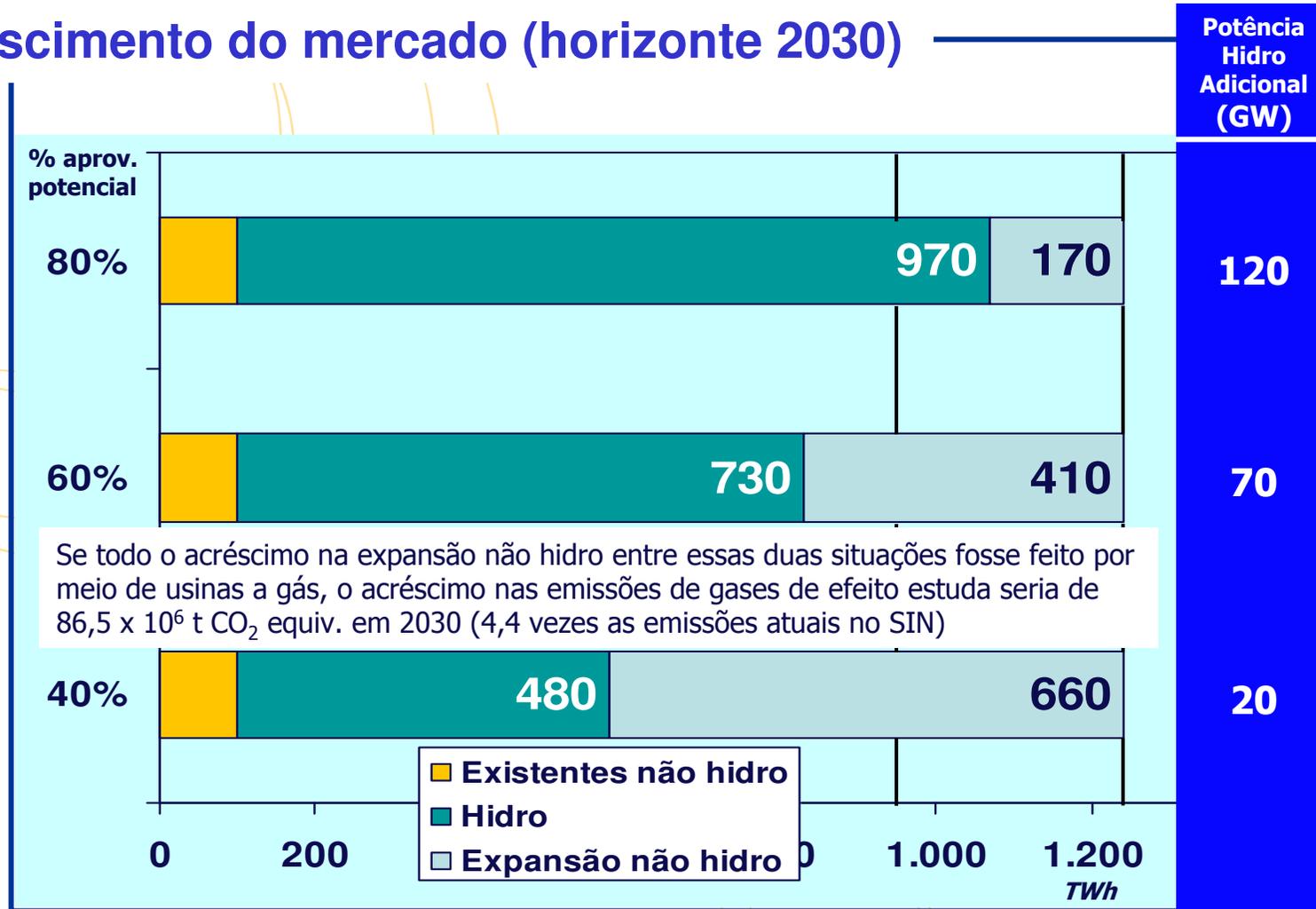
Hipóteses básicas
(taxas médias de crescimento anual)

	PIB	Pop
Cenário PDE (*)	3,8%	0,9%
Cenário EIA	3,0%	0,8%

(*) mera extensão do cenário adotado no Plano Decenal de Expansão

Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

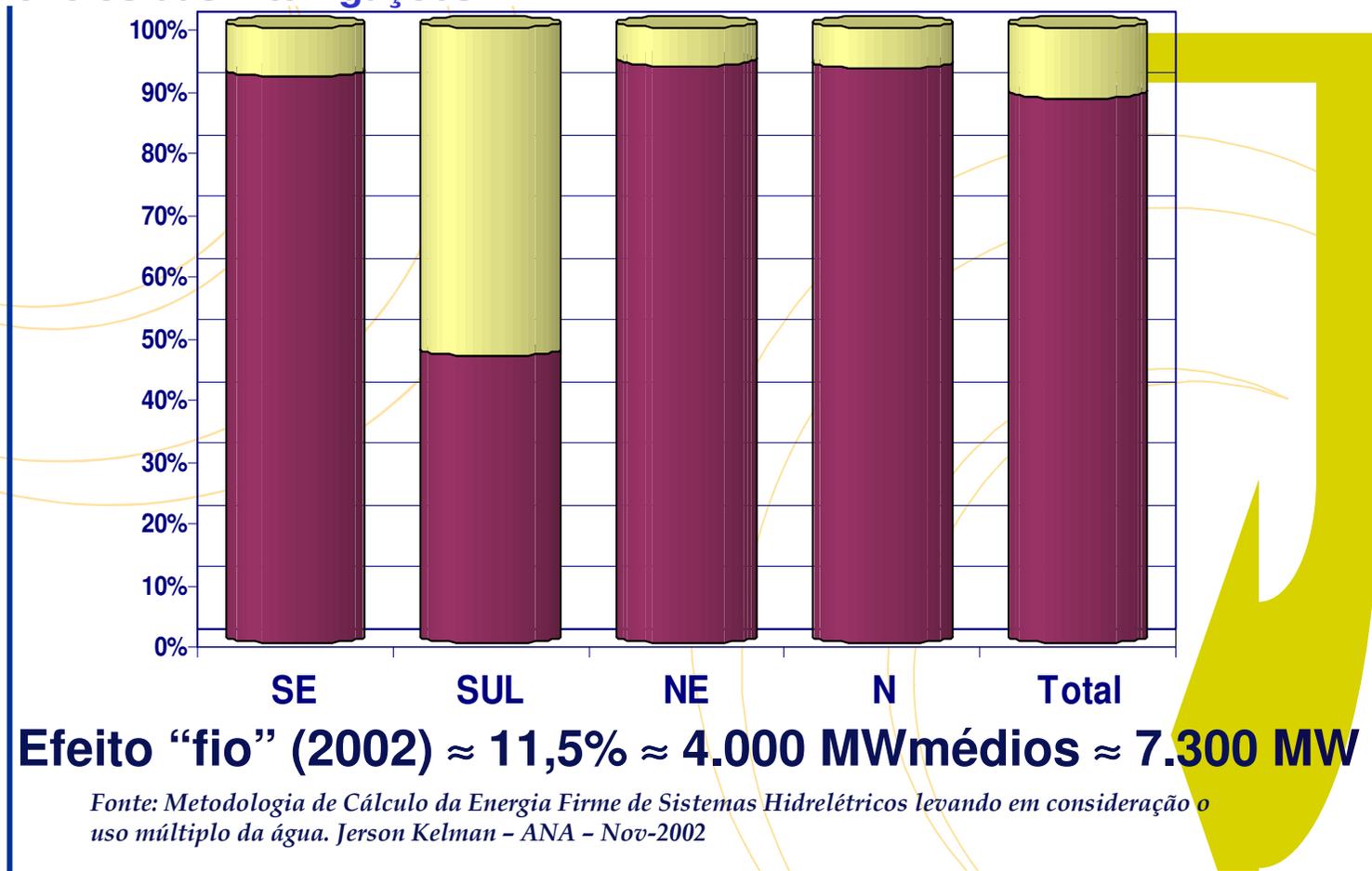
Crescimento do mercado (horizonte 2030)



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

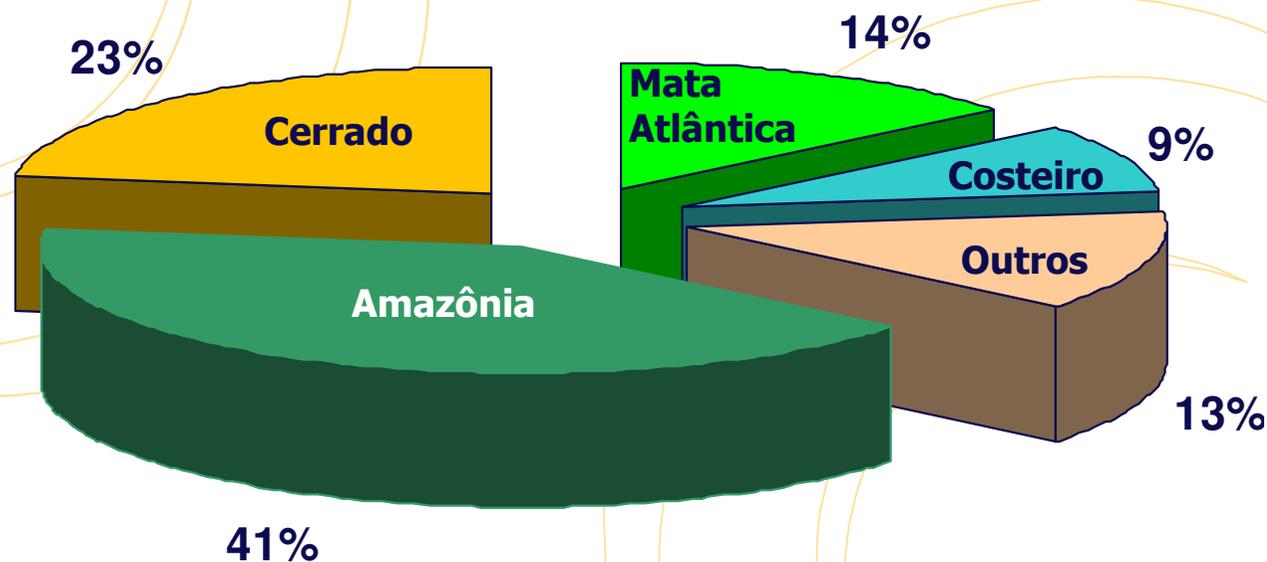
Transmissão

Benefícios das interligações



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

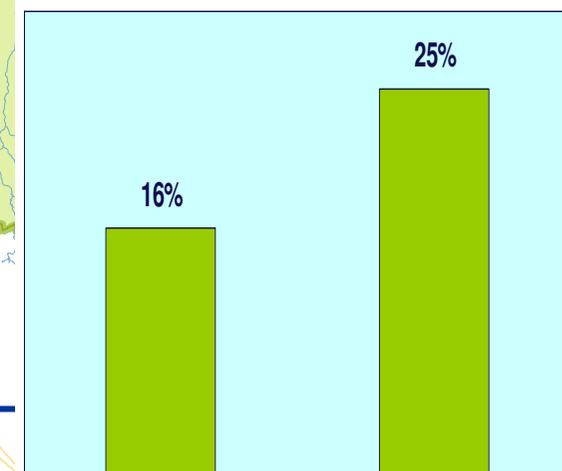
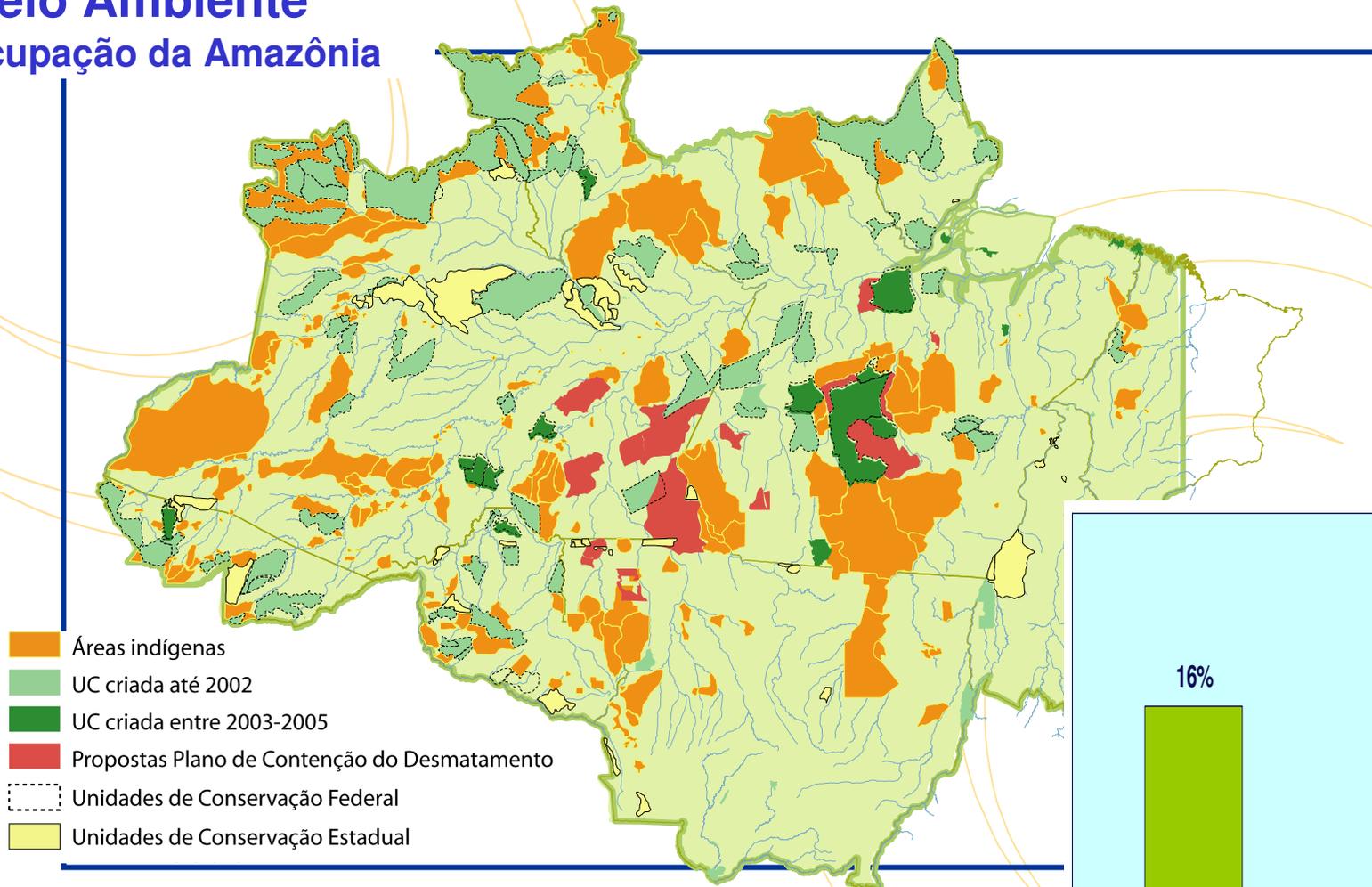
Meio Ambiente



Os biomas **Amazônia** e **Cerrado** cobrem 64% do território nacional. Neles se localizam 70% do potencial hidrelétrico a aproveitar.

Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Meio Ambiente Ocupação da Amazônia



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Meio Ambiente

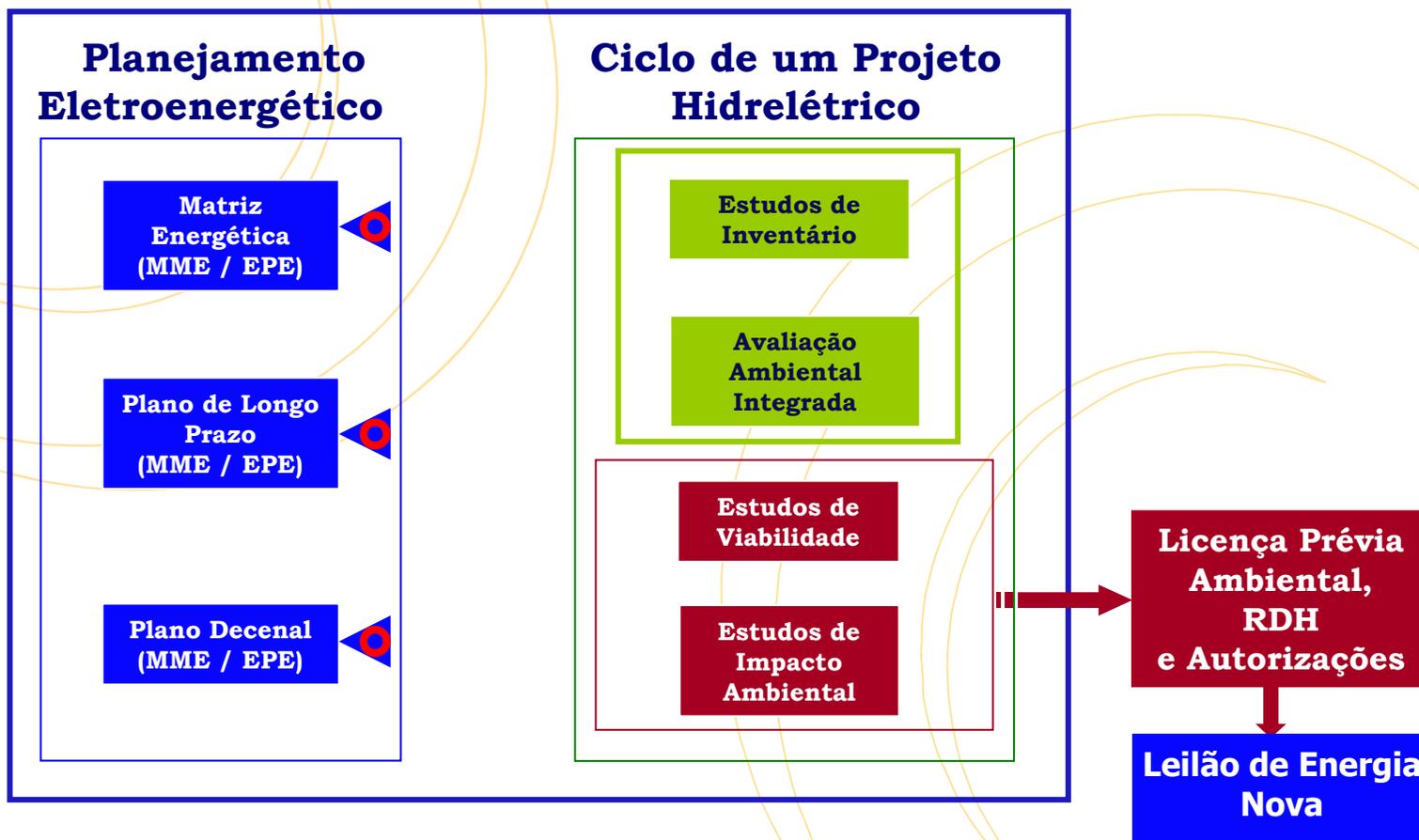
Obtenção das licenças e cronograma de estudos e implantação



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Meio Ambiente

O planejamento e a dimensão socioambiental



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Meio Ambiente

Ações para viabilização de empreendimentos hidrelétricos

- **Integração** efetiva **dos aspectos socioambientais desde os estudos de inventário** das bacias hidrográficas, visando minimizar os impactos socioambientais, mas também preservar o potencial hidrelétrico que o país dispõe.
- Elaborar os **estudos socioambientais com a qualidade necessária e articuladamente com as demais áreas de planejamento** (por exemplo: estudos energéticos, de engenharia, etc.).
- **Considerar as especificidades dos ecossistemas e das comunidades locais**, de forma articulada com as diretrizes e estratégias da área ambiental e com as demais políticas públicas para o desenvolvimento regional.
- Promover **ampla e constante articulação com organismos ambientais** (MMA, IBAMA, FUNAI, INCRA, etc.), **Ministério Público e sociedade** em geral.
- Procurar **soluções alternativas de engenharia para áreas sensíveis** (por exemplo: derivações para adução, rebaixamento da cota de reservatórios, reduzindo área alagada; procedimentos operativos especiais; alteamento de torres; técnicas construtivas especiais)

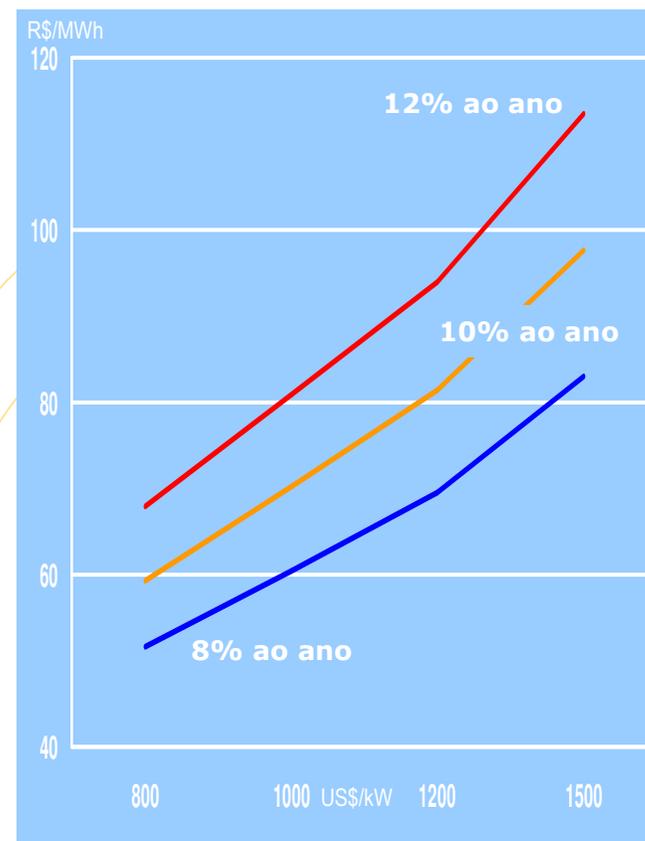
Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Competitividade

Custo médio da geração hidrelétrica, R\$/MWh

 Empresa de Pesquisa Energética US\$/kW	Taxa de desconto (ao ano)		
	8%	10%	12%
800	51,6	59,4	67,9
1.000	60,5	70,3	80,9
1.250	69,5	81,3	94,0
1.500	83,0	97,7	113,5

(*) custo não alavancado,
exclusive tributos e contribuições



Reflexões sobre a Expansão Hidroelétrica no Brasil

Considerações Finais

- A expansão da oferta de energia elétrica no Brasil pode e deve seguir com **predominância da hidroeletricidade**
- O **aproveitamento** do potencial hidráulico deve ser feito de forma **social e ambientalmente sustentável**
- O aproveitamento do potencial hidráulico da **Amazônia é fundamental** para a expansão da oferta de energia elétrica a longo prazo
- É necessário **apurar as estimativas de custo do potencial** a aproveitar

Plano Nacional de Energia 2030



Outras Fontes Renováveis

Plano Nacional de Energia 2030

Fontes Renováveis

Roteiro

Observações Iniciais | 1

PCH | 2

Biomassa da Cana | 3

Eólica | 4

Outras Renováveis | 5

Observações Iniciais

Observações iniciais

Metodologia de trabalho: reuniões temáticas

- Durante os meses de fevereiro e março de 2006, a EPE promoveu uma série de **reuniões temáticas**, direcionadas para os **estudos da oferta**.
- No dia **22 de fevereiro**, no Escritório Central da empresa, teve lugar a que se ocupou do tema **Fontes Renováveis**.
- Os depoimentos e os esclarecimentos colhidos nessas reuniões fazem parte do material de referência utilizado nos estudos da oferta e foram especialmente importantes, seja por sua relevância intrínseca, dada a qualificação dos profissionais convidados, seja por sua atualidade.

Observações iniciais

Participantes para o tema Outras Fontes Renováveis

Albert Cordeiro G. de Melo, Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL e ex-Coordenador do Comitê Técnico de Fontes Alternativas do GCPS/CCPE;

Luciano Basto Oliveira, Doutor em Planejamento Energético e pesquisador da COPPE e do Instituto Virtual de Mudanças Globais - IVIG;

Onório Kitayama, Consultor, Assessor da Presidência da União da Agroindústria Canavieira de São Paulo

Oswaldo Stella Martins, Doutor em Energia e Recursos Naturais, Pesquisador do Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO;

Pedro Villalobos, Consultor, M.Sc. Em Química, ex-pesquisador da COPPE/UFRJ;

Carlos Roberto Silvestrin, Vice-presidente Executivo da Associação Paulista de Cogeração de Energia – COGEN.

Outras referências importantes no tema

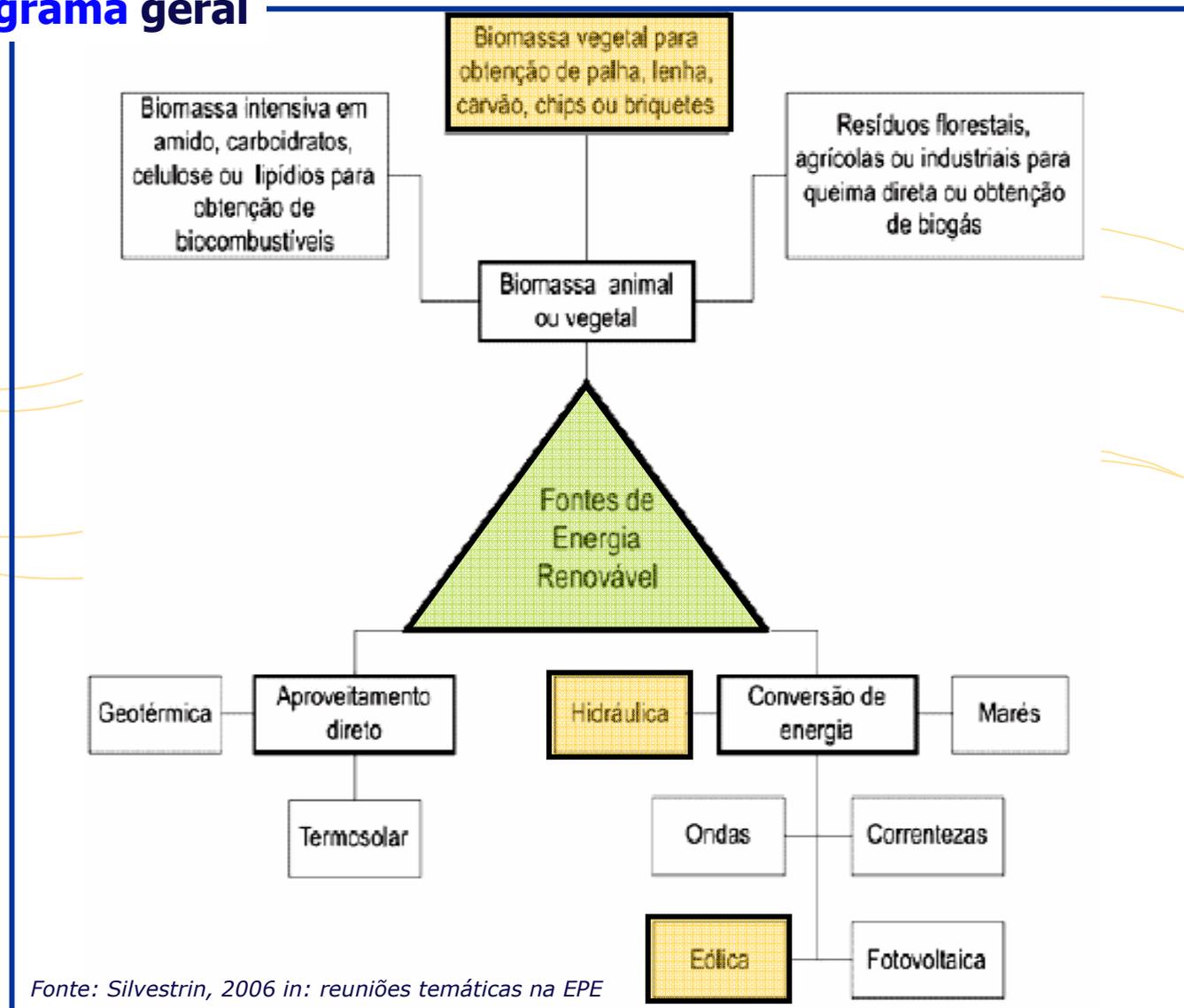
CRESESB, CEPEL: 2004-2006

Plano 2015, Eletrobrás: 1994

Balanco Energético Nacional, MME: 2004; EPE: 2005

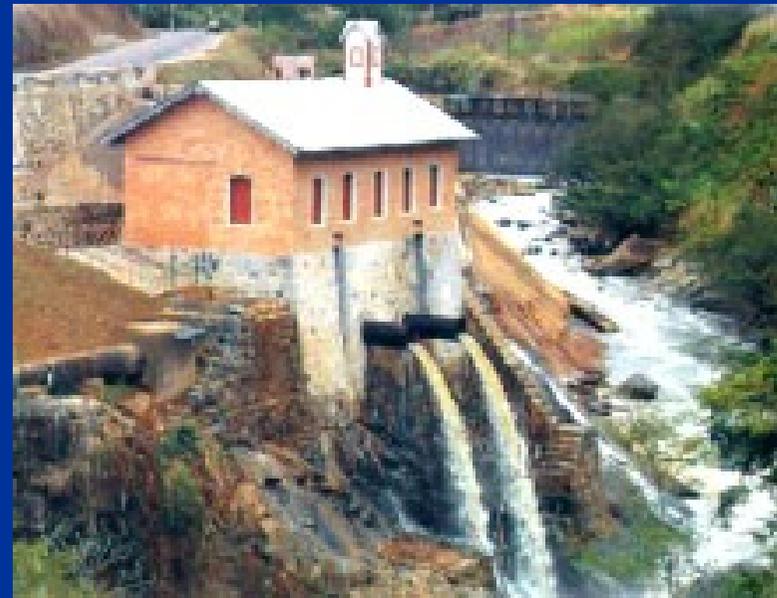
Observações iniciais

Fluxograma geral



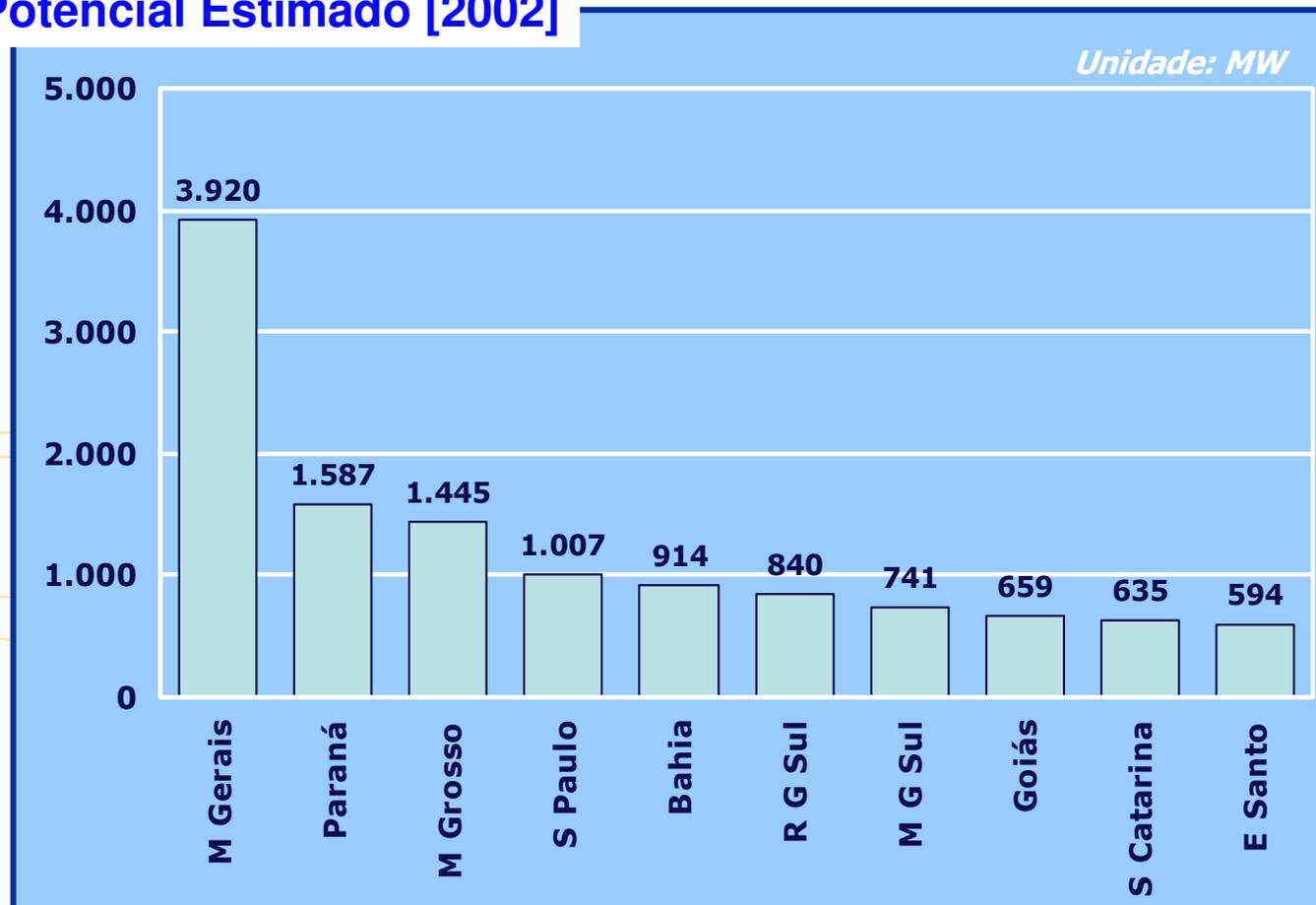
Fonte: Silvestrin, 2006 in: reuniões temáticas na EPE

Pequenas Centrais Hidrelétricas



Pequenas Centrais Hidrelétricas

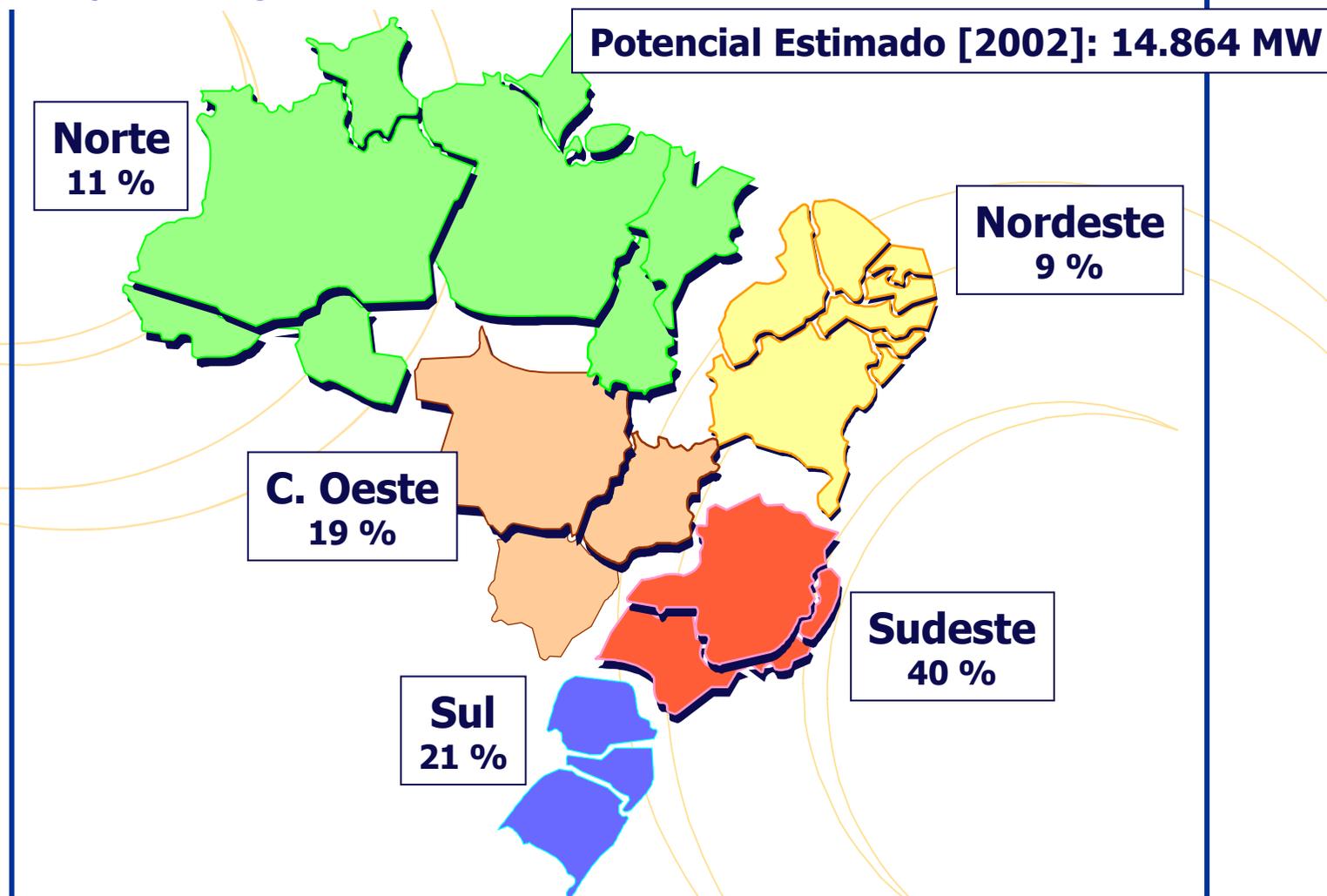
Potencial Estimado [2002]



**O nível de conhecimento do potencial brasileiro em PCH é heterogêneo no país.
10 estados concentram 83% do potencial estimado.**

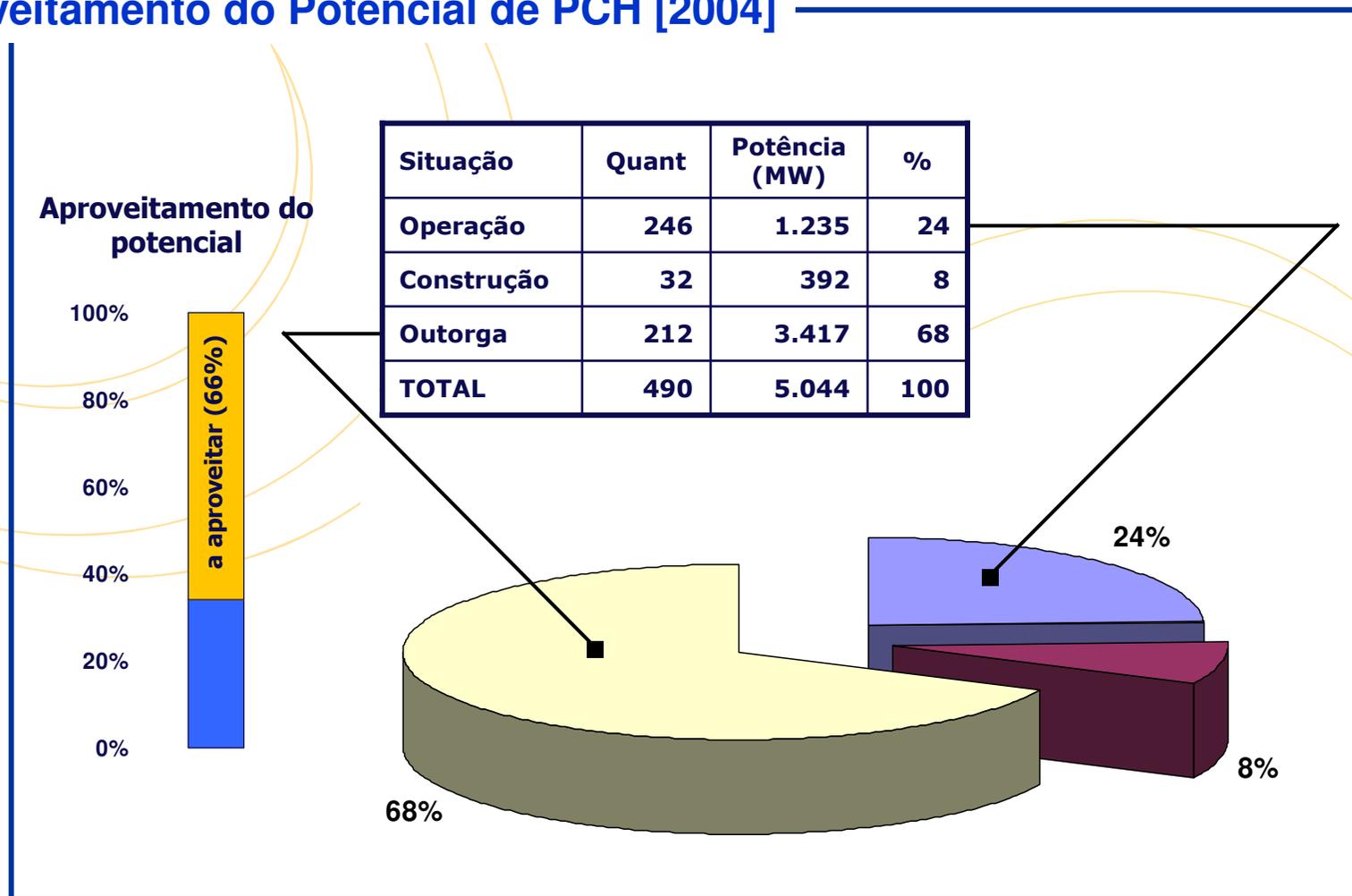
Pequenas Centrais Hidrelétricas

Distribuição Geográfica do Potencial de PCH



Pequenas Centrais Hidrelétricas

Aproveitamento do Potencial de PCH [2004]



Fonte: ANEEL (2004)

Pequenas Centrais Hidrelétricas

Competitividade

Custo médio da geração, R\$/MWh

- Em relação às grandes hidrelétricas, PCH apresentam:
 - Vantagens
 - estudos e projetos menos complexos
 - prazos de construção menores
 - maior aceitabilidade (ambiental)
 - Desvantagens
 - em geral, menor ganho de escala (investimento unitário tende a ser maior)
 - maior custo operacional (unitário)
- PCH têm incentivos setoriais (TUST; "royalties")
- PCH se mostram competitivas com outras fontes de produção de energia elétrica

 Empresa de Pesquisa Energética	Taxa de desconto (ao ano)		
	US\$/kW	8%	10%
1.000	53,1	61,9	71,2
1.250	63,9	74,8	86,5
1.500	74,6	87,8	101,8
1.750	85,4	100,8	117,1

(*) custo não alavancado, exclusive tributos e contribuições

Biomassa



Biomassa

Conceito

Bioeletricidade: energia elétrica cogenerada a partir da biomassa (madeira, cana-de-açúcar) com previsibilidade, sustentabilidade e qualidade

Biomassa e biocombustíveis: Grande potencial no país

- **Condições geográficas brasileiras favoráveis**
 - dimensões continentais
 - características do solo
 - clima (insolação, regime de chuvas, etc.)
- **Tecnologia desenvolvida**
 - etanol
 - biodiesel
 - cogeração a partir do bagaço de cana e outros usos
- **Localização em praticamente todo o território nacional**
 - possibilidades de especialização regional

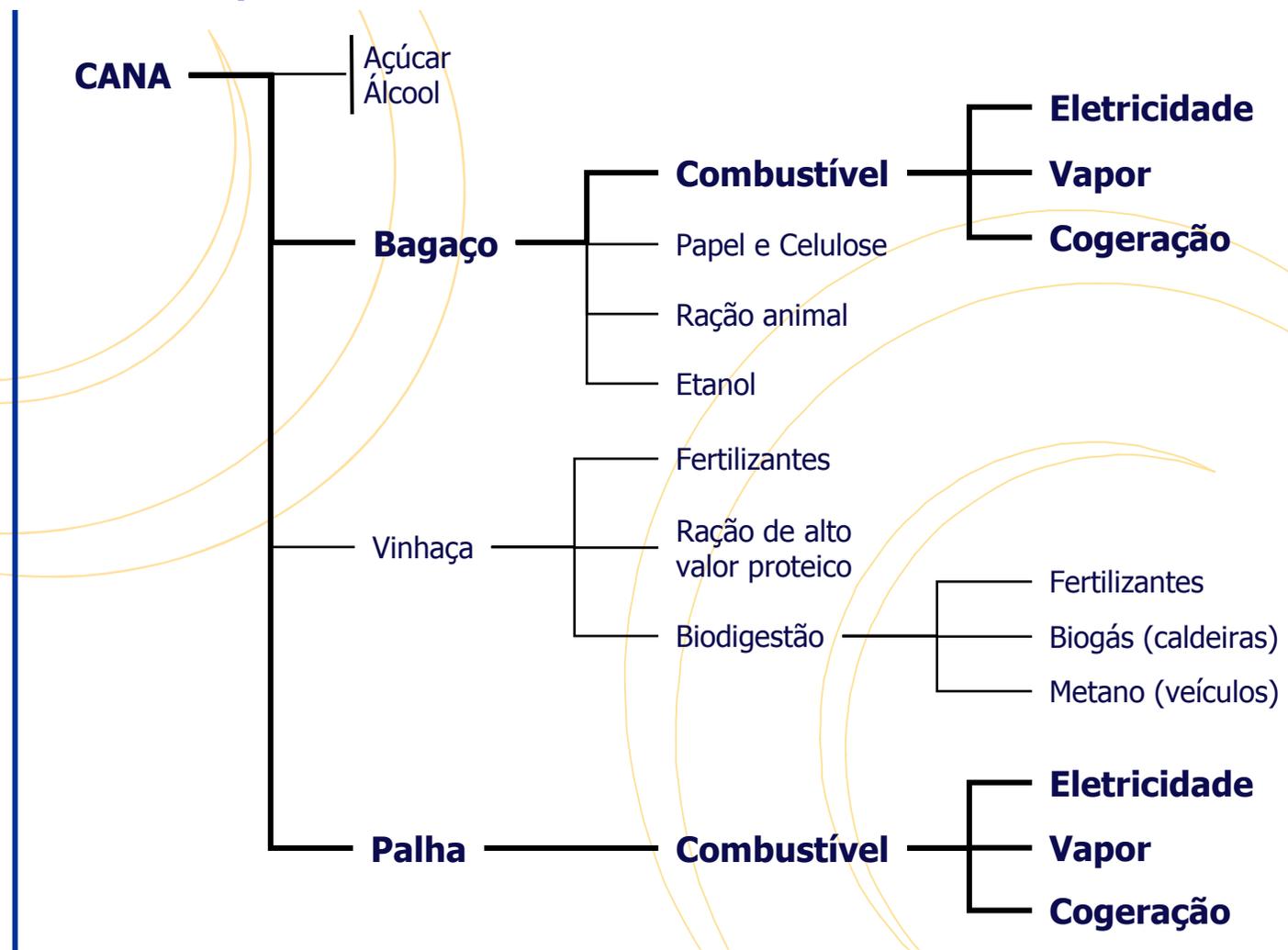
Biomassa

Bioeletricidade: potência instalada atual

Biomassa	Setor	Nº de Usinas	Potência Nominal (MW)	%
Bagaço de cana	Sucro-alcooleiro	221	2.822	69
Licor Negro	Papel e celulose	13	783	24
Madeira	Florestal	24	204	6
Biogás	Saneamento	2	20	1
Casca de arroz	Agrícola	2	7	-
TOTAL		262	3.296	100

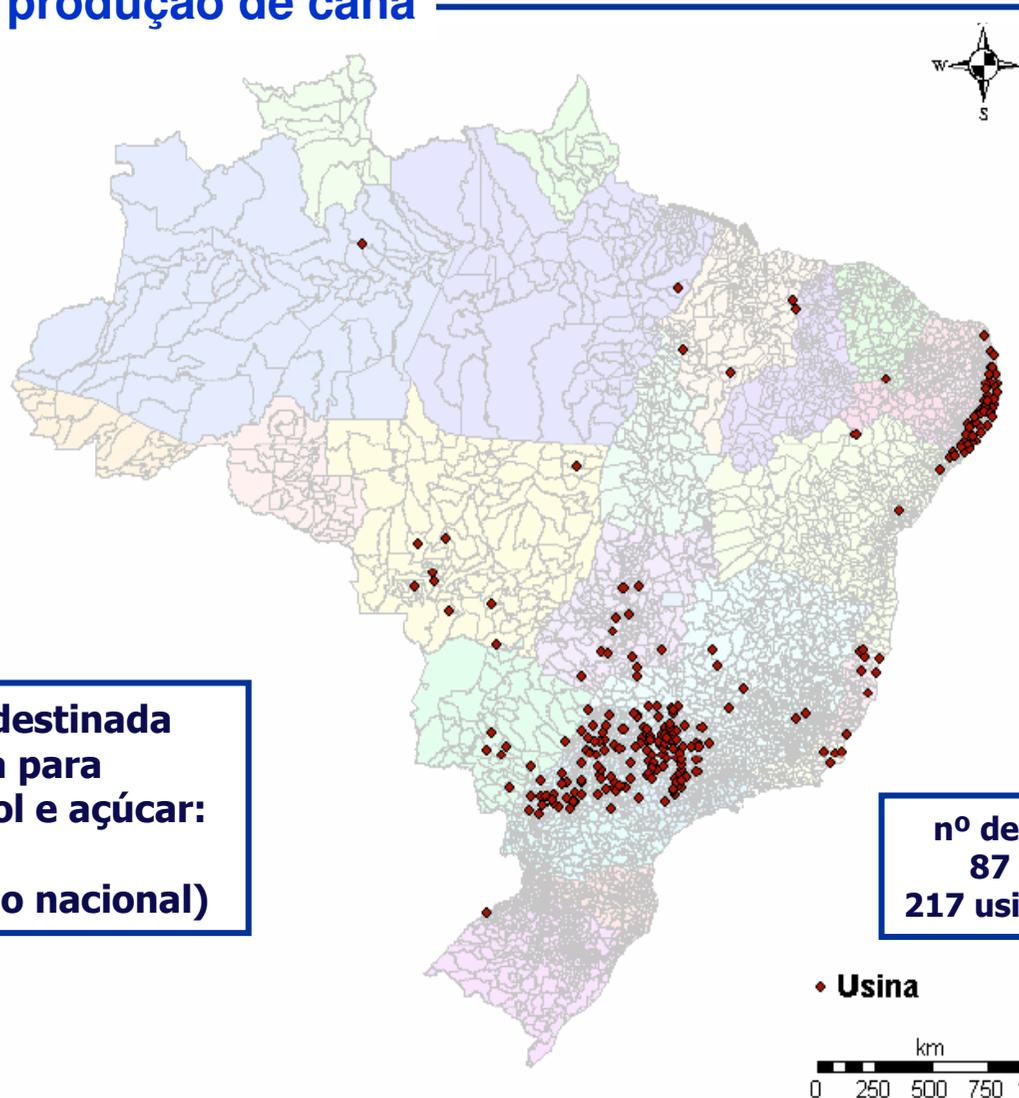
Biomassa

Produtos e sub-produtos da cana



Biomassa

Área atual de produção de cana



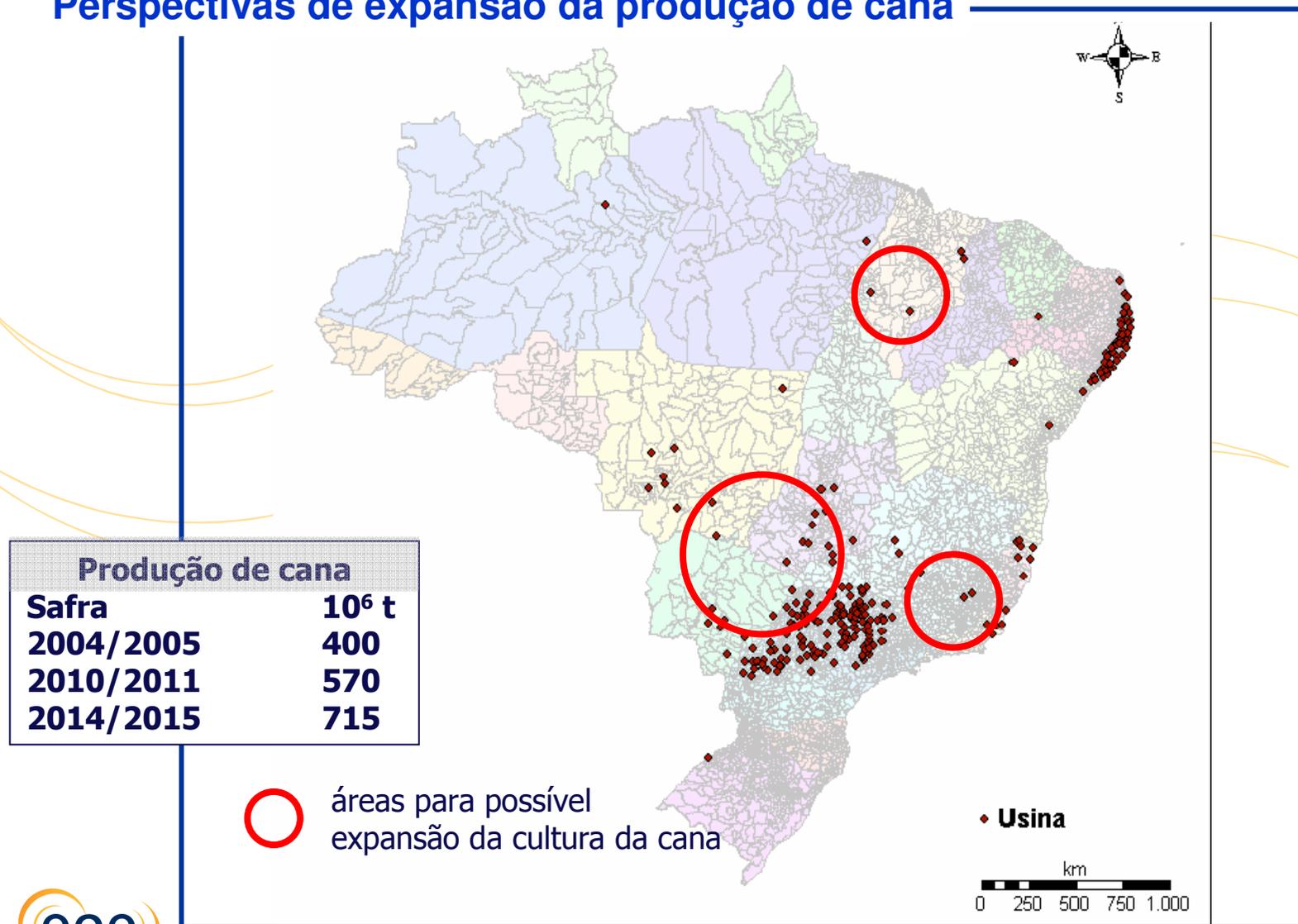
Área atualmente destinada ao plantio da cana para produção de etanol e açúcar: 5,4 milhões ha (0,8% do território nacional)

nº de unidades industriais: 87 usinas no Nordeste 217 usina no Sudeste/C-Oeste

◆ Usina
0 250 500 750 1.000 km

Biomassa

Perspectivas de expansão da produção de cana



Biomassa

Potencial técnico de produção de eletricidade a partir da biomassa da cana

		Potencial técnico (TWh/ano)		
		Safrá de cana (milhões de ton.)		
Tecnologia de geração	Sistema de colheita	400	700	1.000
Ciclo de contrapressão (atual)	Sem recuperação	8,1	14,2	20,3
	Com recuperação	11,6	20,4	29,1
Ciclo de contrapressão eficientizado	Sem recuperação	24,3	42,6	60,8
	Com recuperação	34,9	61,0	87,2
Ciclo de condensação e extração	Sem recuperação	46,4	81,3	116,1
	Com recuperação	77,5	135,6	193,7
Gaseificação da biomassa e ciclo combinado	Sem recuperação	96,1	168,2	240,3
	Com recuperação	142,2	248,8	355,5

Com bas em Tolmasquim et al (2005)

Biomassa

Competitividade

Custo médio da geração, R\$/MWh

- Há perspectiva real de aumento do potencial com a penetração de tecnologias mais eficientes, embora com custos de investimento mais elevados
- O desenvolvimento dessa opção está atrelado ao aumento da produção de cana

- Características

- prazos de construção menores
- aproveitamento de resíduos (maior eficiência energética global)
- boa aceitabilidade ambiental

US\$/kW	Taxa de desconto (ao ano)		
	8%	10%	12%
500	52,2	56,1	60,2
750	64,6	70,4	76,6
1.000	76,9	84,7	93,0
1.250	89,3	99,0	109,4
1.500	101,7	113,4	125,8

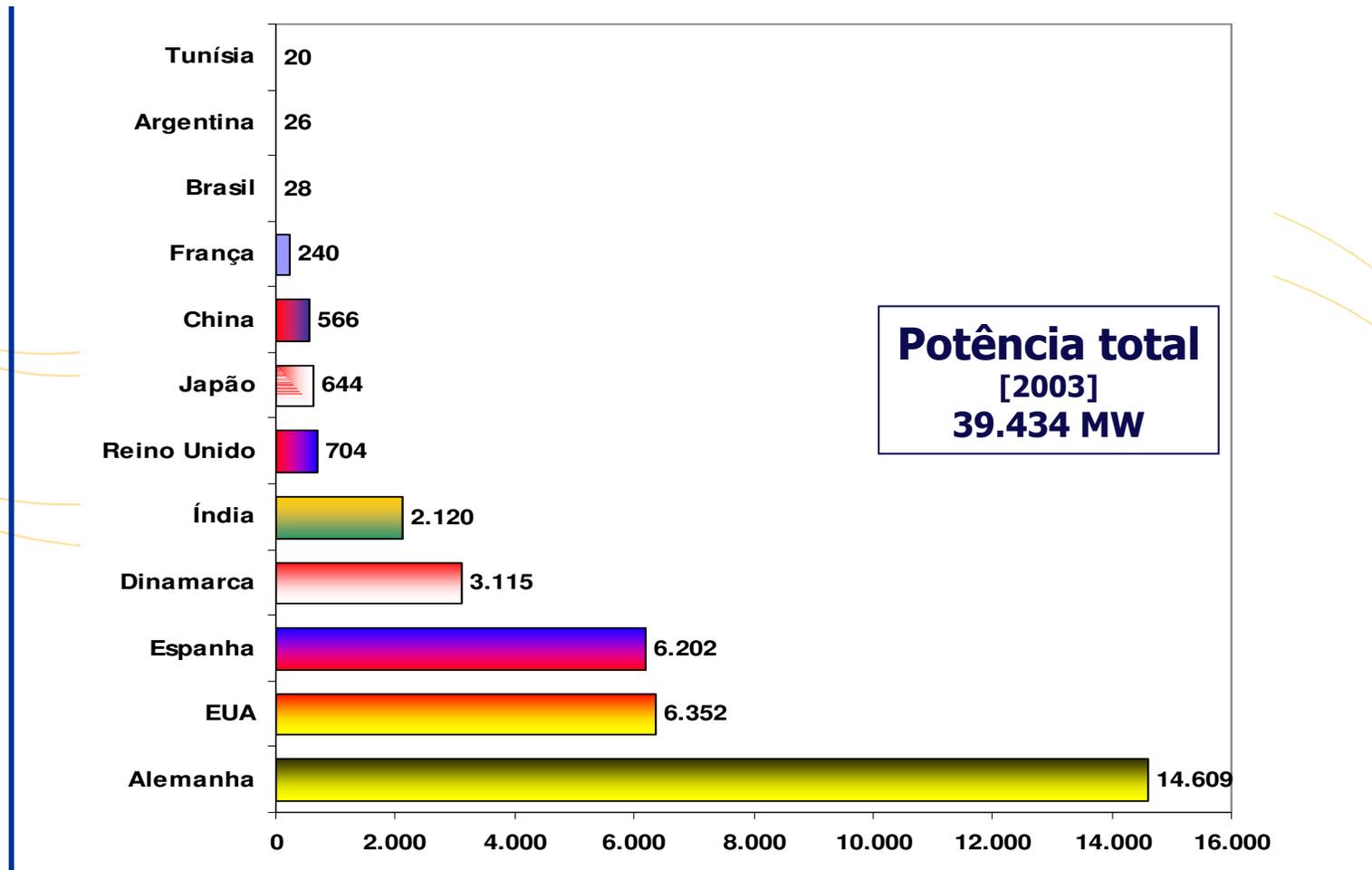
(* custo não alavancado, exclusive tributos e contribuições)

Energía Eólica



ENERGIA EÓLICA

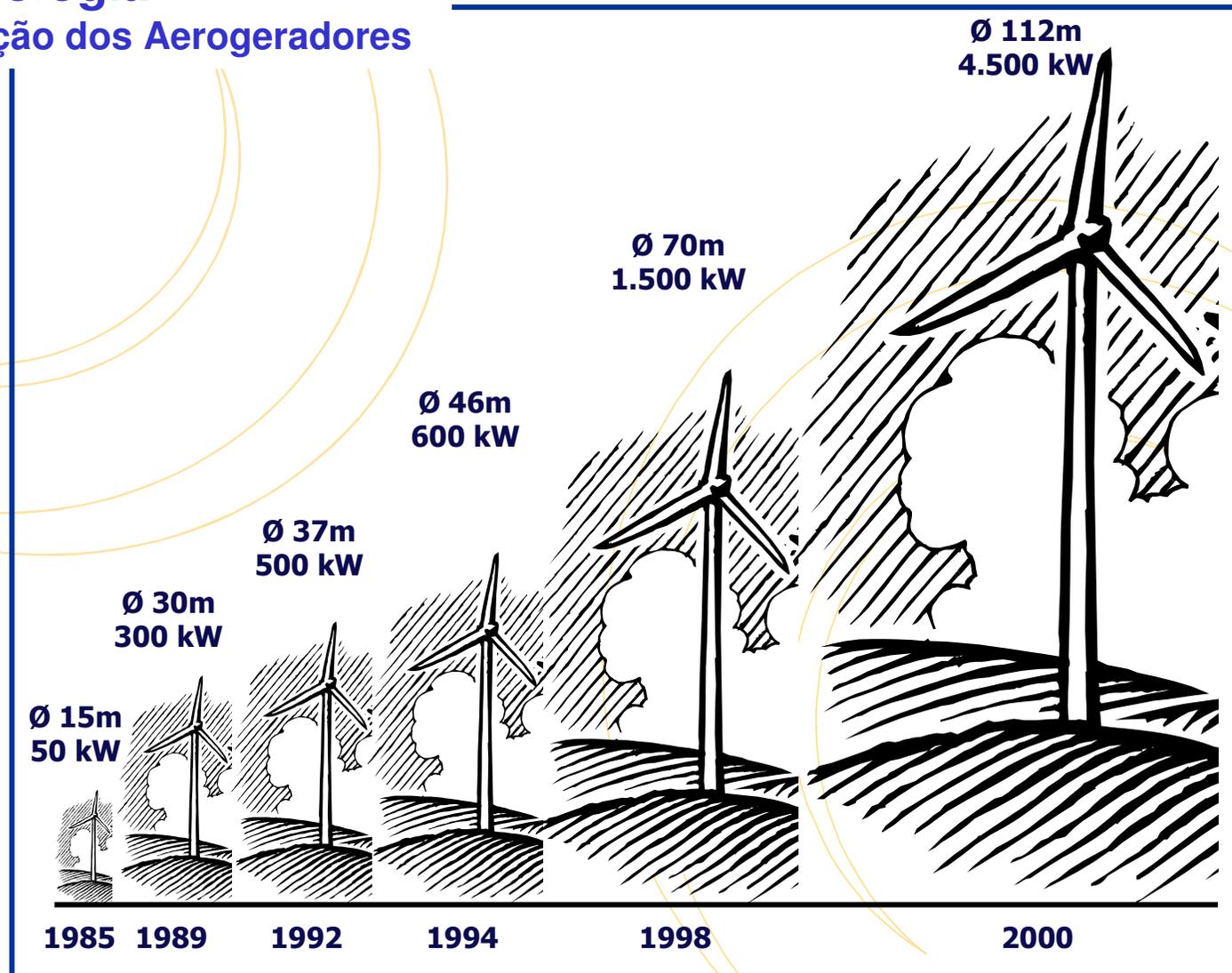
Potência Instalada no Mundo (MW)



Fonte: Tolmasquim et al (2005)

Energia Eólica

Tecnologia Evolução dos Aerogeradores



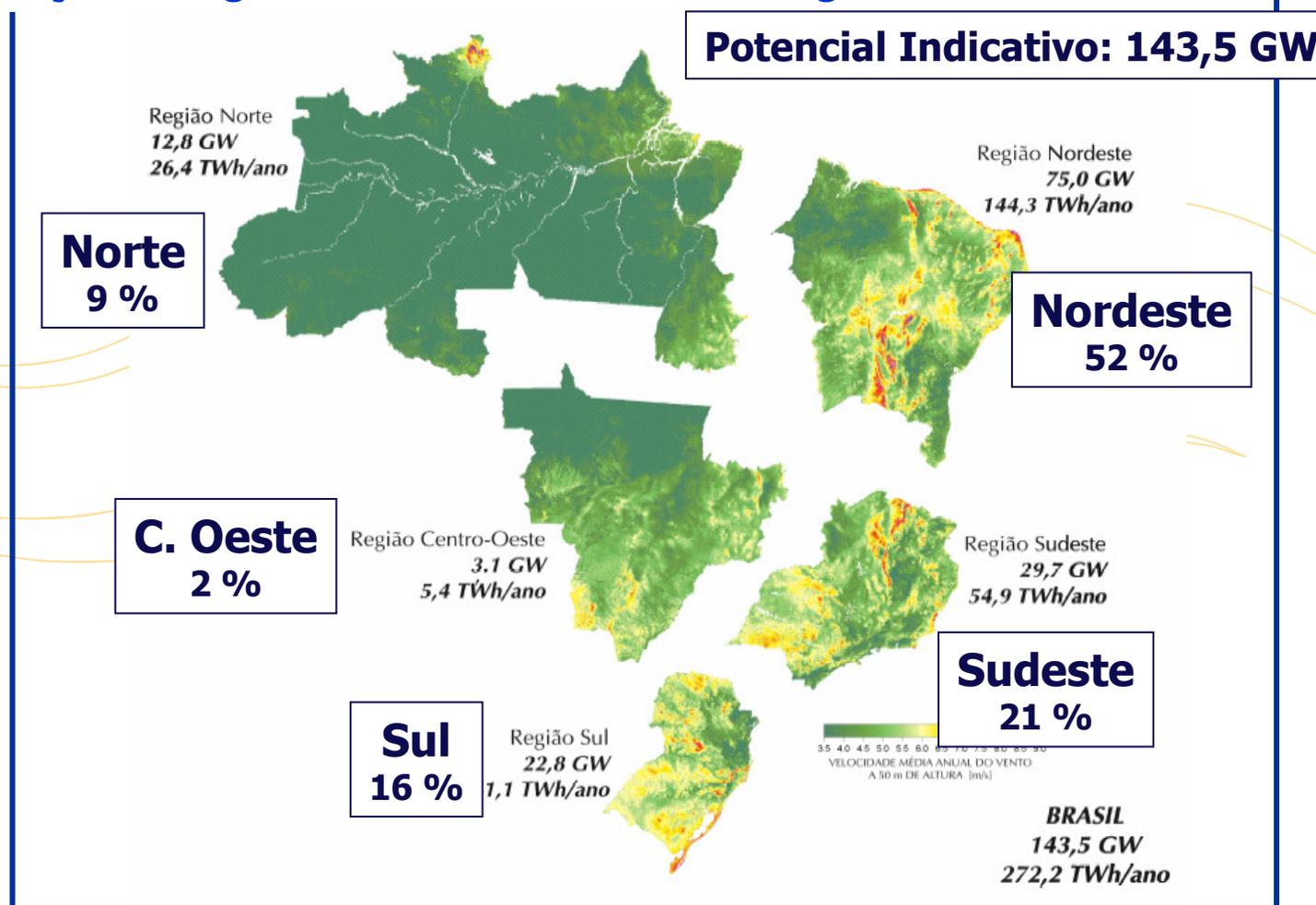
Energia Eólica

Localização do potencial

- **NORDESTE**
 - faixa litorânea de Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, chapadas e "off shore"
- **SUDESTE**
 - Norte fluminense, Espírito Santo e elevações em São Paulo
- **SUL**
 - regiões litorâneas
- **NORTE**
 - faixa litorânea do Amapá e do Pará
- **CENTRO-OESTE**
 - áreas de fronteira com o Paraguai

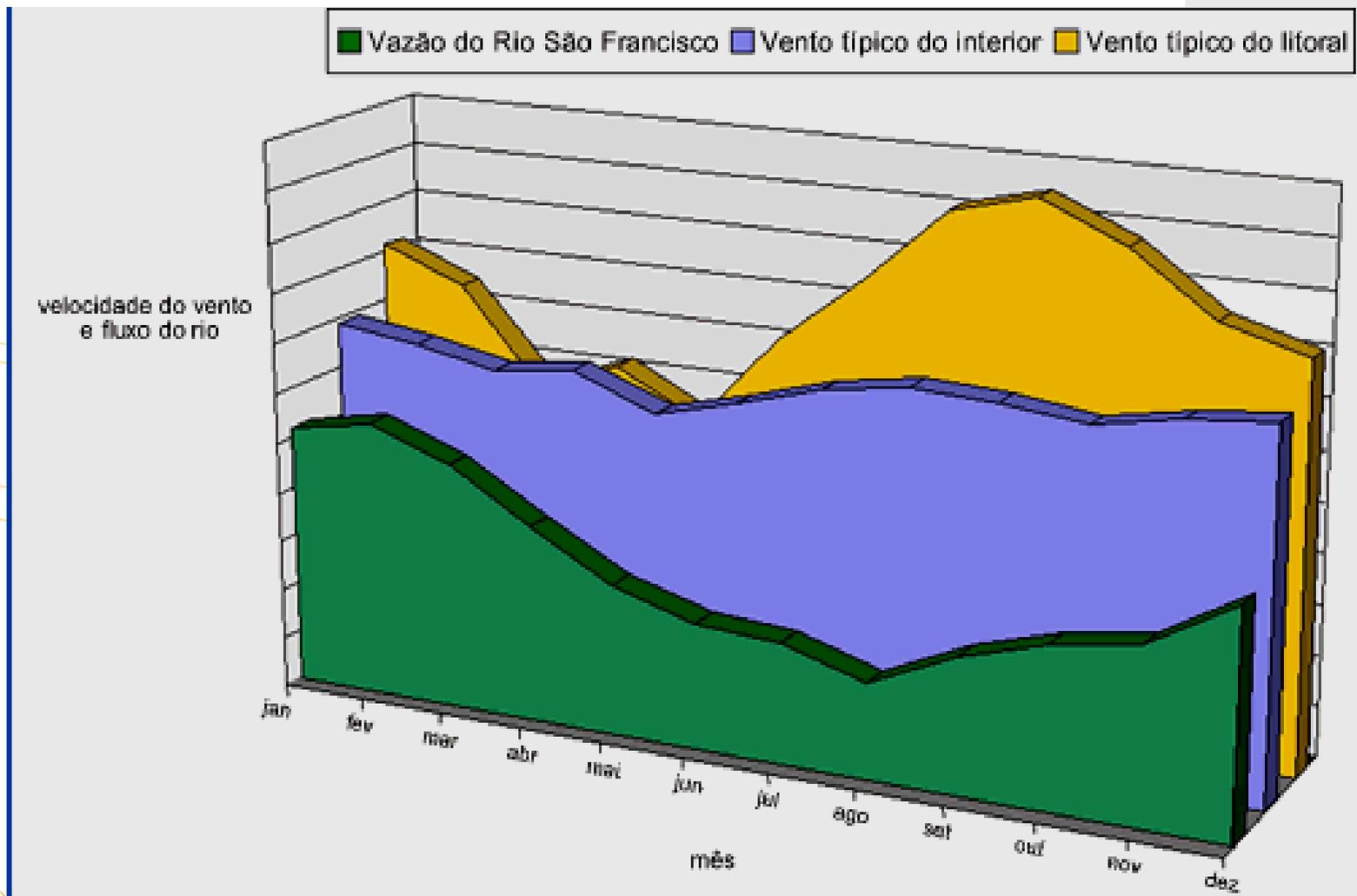
Energia Eólica

Distribuição Geográfica do Potencial de Energia Eólica



Energia Eólica

Complementaridade da Energia Eólica com a Energia Hidráulica



Energia Eólica

Competitividade

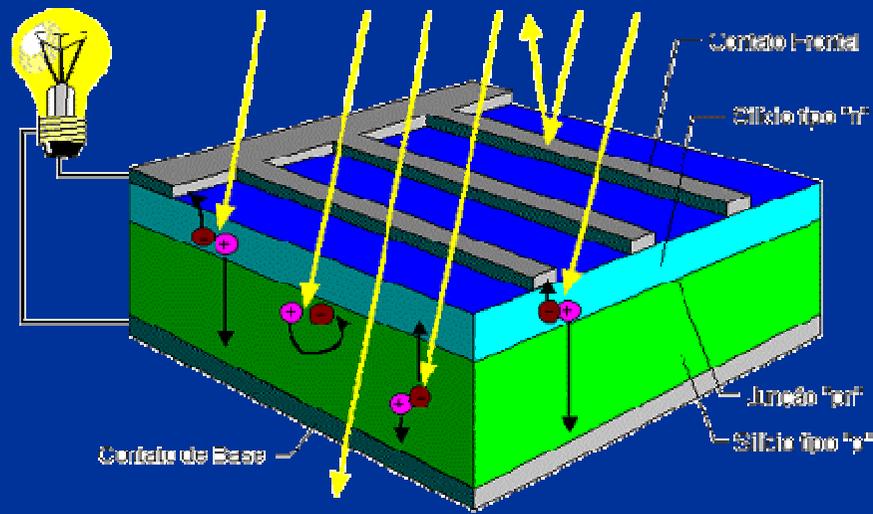
Custo médio da geração, R\$/MWh

- Pode-se dizer que, hoje, a tecnologia está madura.
- Para maior desenvolvimento dessa opção no Brasil, o aumento da escala é fundamental e tenderá a reduzir os custos de investimento.
- Características
 - prazos de construção menores
 - maior aceitabilidade ambiental
 - fator de capacidade relativamente baixo

US\$/kW	Taxa de desconto (ao ano)		
	8%	10%	12%
1.250	131,6	146,9	163,0
1.500	152,5	170,9	190,2
1.750	173,5	194,9	217,5
2.000	194,5	219,0	244,7
2.250	215,5	243,0	272,0

(*) custo não alavancado, exclusive tributos e contribuições

Outras renováveis



Outras renováveis

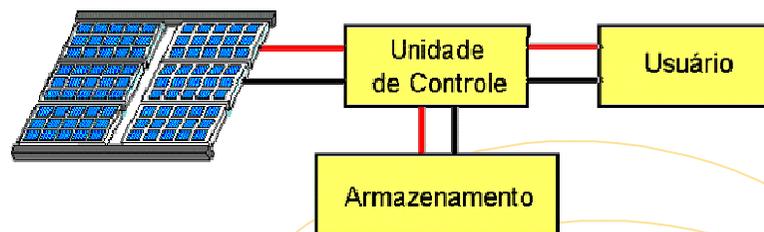
Energia solar: panorama

▪ Tecnologias de Conversão Direta da Radiação Solar

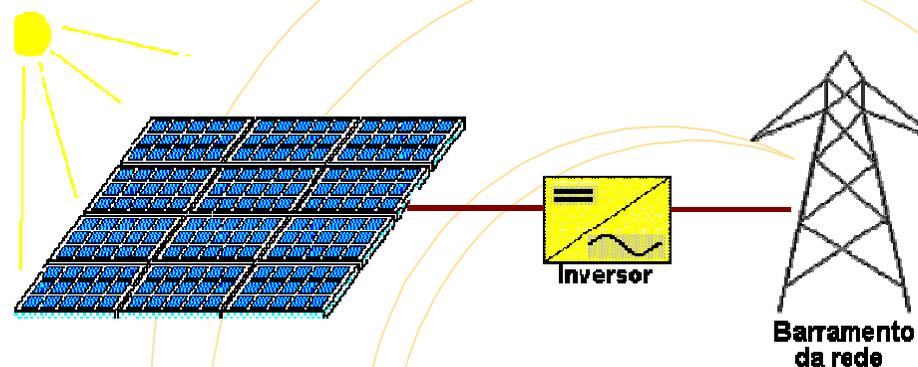
Tecnologia	Processo	Estágio Atual
Fotovoltaica	Conversão direta de energia luminosa em eletricidade através de células fotovoltaicas	comercial
Fotovoltaica com Concentração	Utiliza, além das células, dispositivos óticos de concentração (espelhos, lentes etc.)	demonstrado, poucas opções comerciais
Heliotérmica	Aquecimento de fluidos de trabalho e/ou geração de eletricidade através de máquinas térmicas	comercial/ demonstração

Energia solar: sistema fotovoltaico

Configuração básica de um sistema fotovoltaico



Sistema fotovoltaico conectado à rede



Potencial brasileiro: 4 - 6 kWh/m².dia

Fonte: CRESESB/CEPEL, 2004

Outras renováveis

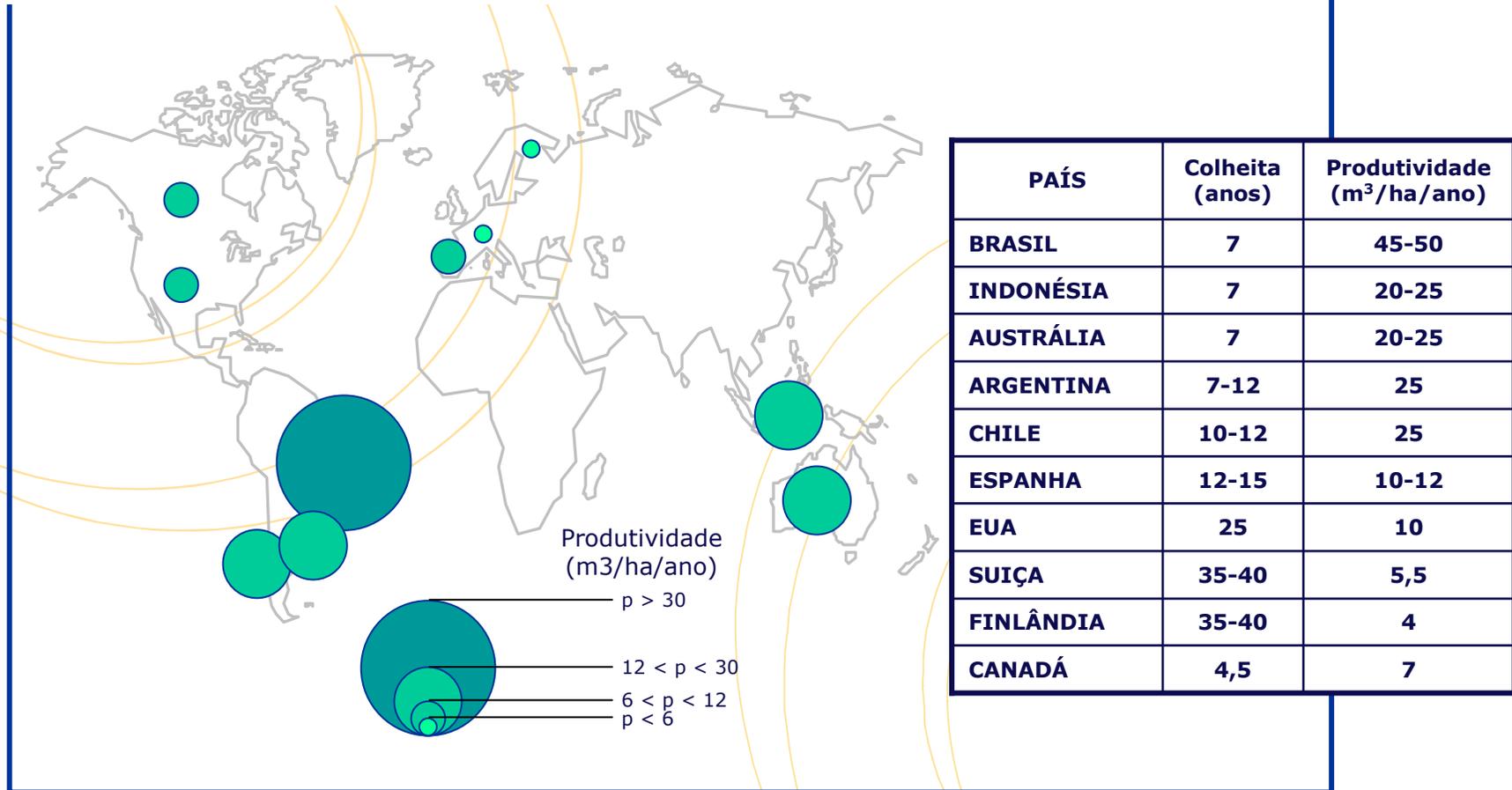
Energia solar: parâmetros técnicos e econômicos

 Empresa de Pesquisa Energética	TECNOLOGIA			
	SOLAR FOTOVOLTAICO	HELIOTÉRMICO		
		Torre central	Cilindros	Discos
Tamanho Típico	50 W - 10 MW	30 MW - 200 MW	50 MW	20 kW - 50 kW
Maturidade Tecnológica	Demonstrada (grid) Comercial (off-grid)	Pré-comercial	Comercial	Demonstrada
Viabilidade Técnica	Média	Alta	Alta	Média
Investimento (US\$/kW)	4 a 9 mil	1 a 4,8 mil	2,6 a 5 mil	0,8 a 5,1 mil
Custo Geração (US\$/MWh)	250-500	100-250	130-250	100-250
Mercado Potencial	Sistemas isolados e consumidores		Grandes consumidores	

Fonte: CRESESB/CEPEL, 2004

Biomassa

Biomassa da madeira: vantagem competitiva brasileira



Outras renováveis

Energia das ondas: panorama

- **Tecnologia**

em estágio de desenvolvimento

- **Custo**

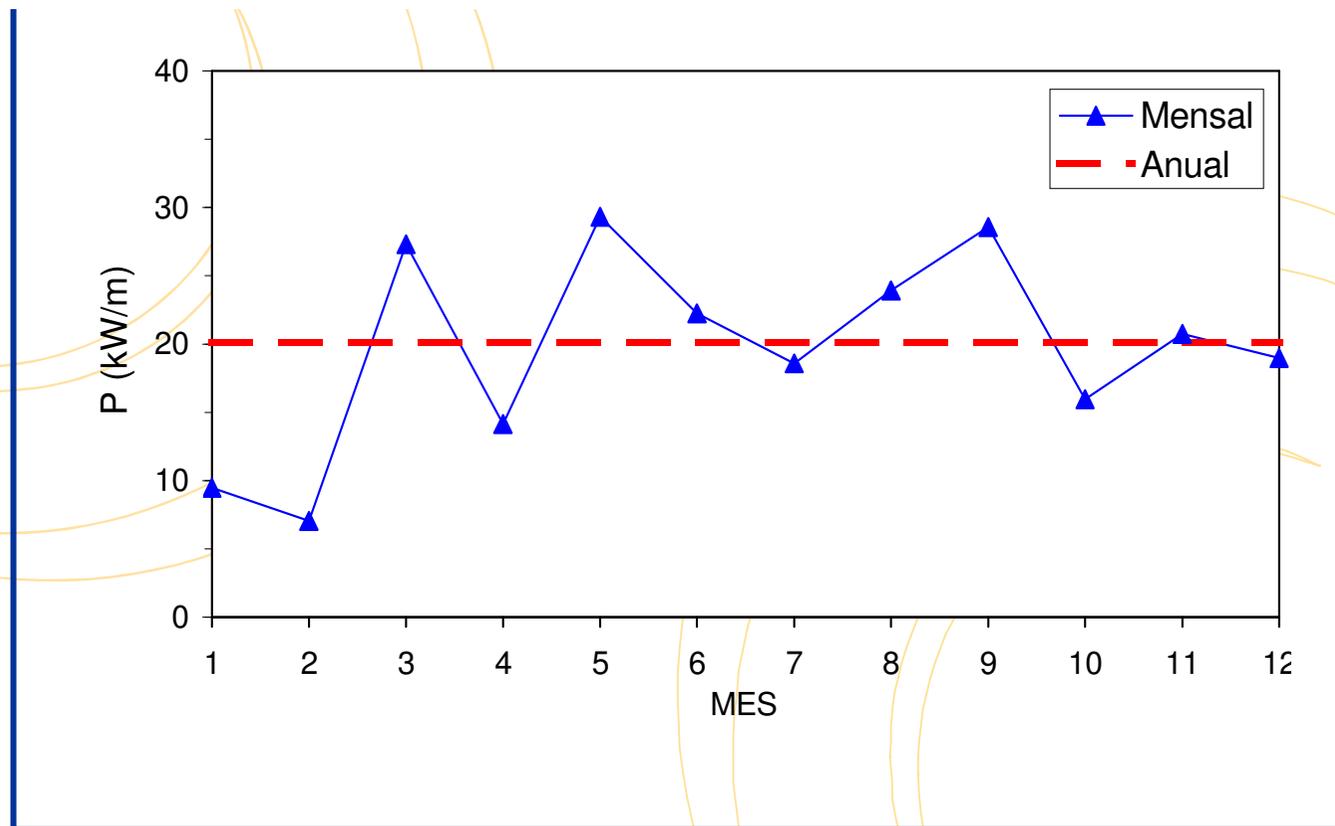
ainda muito elevado

- **Potencial estimado de geração no mundo**

1 TW → 2.000 TWh

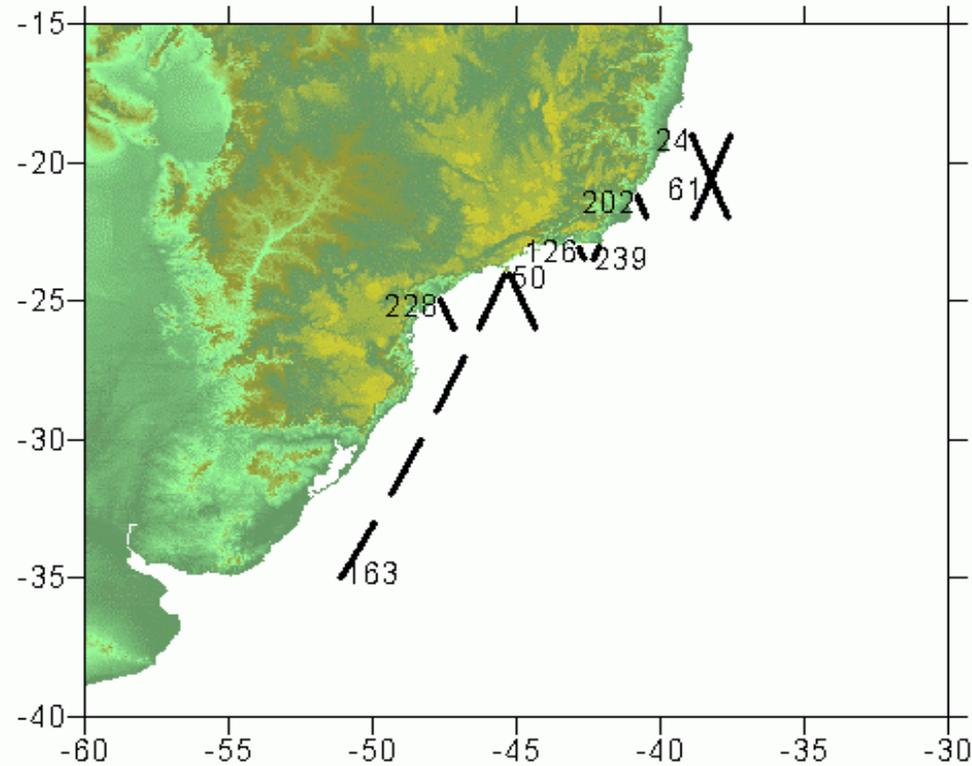
Outras renováveis

Energia das ondas: sazonalidade (Brasil)



Outras renováveis

Energia das ondas: potencial brasileiro



**Localização principal: ao Sul do Paralelo 19°
Potencial : 40 GW ou 50 TWh/ano**

Outras renováveis

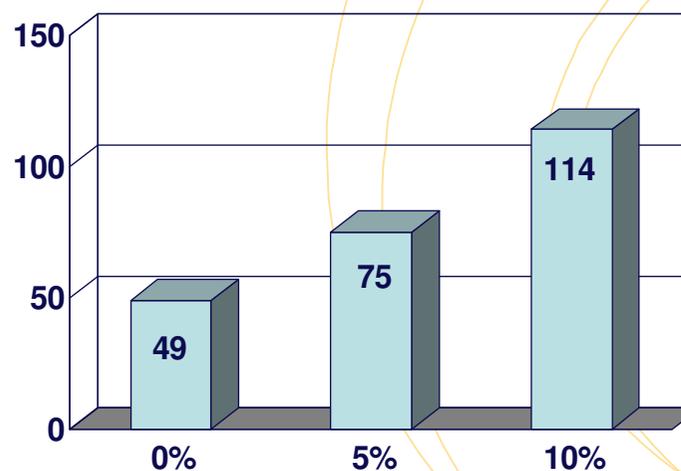
Energia das ondas: parâmetros econômicos

Estudo de caso: Usina de Limpet - Grã Bretanha

- Características

Porte	206 kW
Investimento	US\$ 1,3 milhões
Custo operacional	US\$ 35 mil/ano
Vida útil	30 anos

- Estimativa do custo de geração (US\$/MWh)



Outras renováveis

Outras renováveis e outros resíduos

- **Casca de arroz; licor negro; repotenciação**
- **Potencial relativamente pequeno para compor entre as alternativas de expansão da oferta de eletricidade**
- **Podem apresentar interesses específicos setoriais ou regionais**
(ex.: licor negro, indústria de papel e celulose;
casca de arroz: regiões produtoras, etc.)
- **Repotenciação de usinas hidrelétricas não agrega quantidade significativa de energia (só potência)**

Muito obrigado!



EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE

<http://www.epe.gov.br>

Av. Rio Branco, 1 – 11º andar
20090-003 Rio de Janeiro RJ
Tel.: + 55 (21) 3512 - 3100
Fax: + 55 (21) 3512 - 3199

